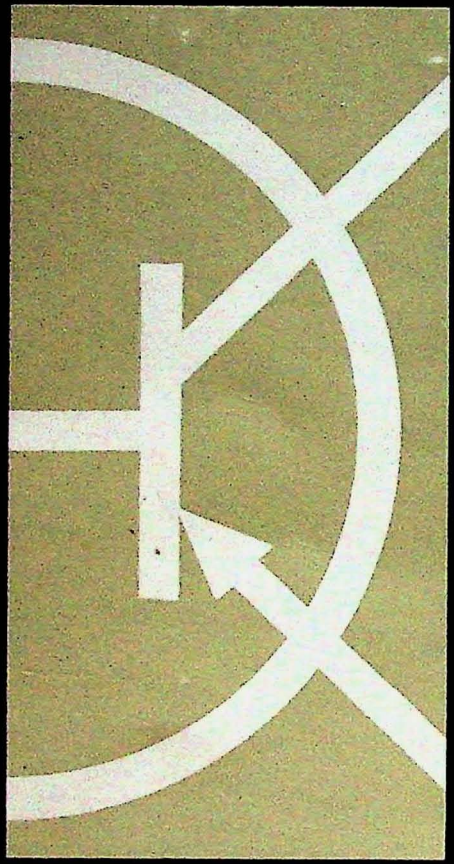


TOPP Buchreihe Elektronik 20

Helmut Gillich

Messungen an Halbleitern

Helmut Gillich

Messungen an Halbleitern

TOPP Reihe »Elektronik« 20

Verlag Frech Stuttgart-Botnang

1 Niederspannungs-Netzgerät 6
2 Konstantstrom-Zweipol 8
3 Strom- und Spannungsmessung — aber wie 10
4 Prüfung von Germanium- und Silizium-Dioden 12
5 Kennlinie von Dioden 14
6 Kennlinie einer Zenerdiode 16
7 Testschaltung für Zenerdioden 18
8 Prüfen von Kapazitätsdioden 20
9 Strom-Spannungsverhalten einer Tunneldiode 22
10 Testschaltung für Tunneldioden 24
11 Strom-Spannungsverhalten einer Vierschichtdiode 26
12 Testschaltung für Silizium-Gleichrichter 28
13 Diodenprüfung — oszillografisch 30
14 Eichung des Hilfsgerätes 32
15 Thyristorprüfung 34
16 Testschaltung für Thyristoren 36
17 Ermitteln der Thyristorkennwerte 38
18 Oszillografische Darstellung der Thyristor-Steuerung 40
19 Identifizieren von Transistor-Anschlüssen 42
20 Erweiterte Prüfung mit Ohmmeter 44
21 Aufnahme von Transistor-Kennlinien 46
22 Oszillografische Prüfung von Transistoren 48
23 Transistor-Testprinzip 50
24 Transistortest mit dem Ohmmeter 51
25 Temperatur- und Lichtempfindlichkeit eines Transistors 52
Unijunction-Transistor, UJT 53
26 Kennwerte eines Unijunction-Transistors 56
27 Testschaltung für Unijunction-Transistoren 59
28 Temperaturverhalten von Kaltleitern 60
29 Strom-Spannungsverhalten von PTC-Widerständen 61
30 Eisen-Wasserstoff-Widerstand 62
31 Temperaturverhalten von Heißleitern 63
32 Strom-Spannungsverhalten von Heißleitern 65
33 Spannungsabhängige Widerstände 66
Fotoelektronische Bauelemente 69
34 Eigenschaften von Fotoelementen 70
35 Eigenschaften von Fotodioden 72
36 Eigenschaften von Fotowiderständen 74
37 Magnetfeldabhängige Bauelemente — Prüfverfahren 76
38 Prüfung von Feldplatten 78
39 Messung an einem Hallgenerator 80
40 Eigenschaften von Thermoelementen 82
41 Halbleitertester 84
Literatur 86

Einführung

Seit der erstmaligen Vorstellung der Kristalldiode im Jahre 1940 und des Transistors im Jahre 1948, hat sich die Zahl der daraus entwickelten Halbleiterbauelemente vervielfacht. So gibt es zur Zeit über 20 Grundtypen von Dioden und über 30 Transistor-Grundtypen. Rechnet man neben den speziellen Halbleiterbauelementen (Kaltleiter, Heißleiter, spannungsabhängige Widerstände, Fotowiderstände, Fotoelemente usw.) noch die in vielfältiger Variation herstellbaren integrierten Schaltungen dazu, so erhält man eine kaum überschaubare Zahl.
Die vorliegende Schaltungssammlung soll nur einen Überblick über die Eigenschaften der gebräuchlichsten Halbleiterbauelemente geben. Die Schaltungen sagen aus, wie die Kennlinie eines Halbleiters aufgenommen wird und wie der grundsätzliche Verlauf der Kennlinie sein soll. Gezeigt wird außerdem, wie aus den Messungen charakterisierende Kennwerte zeichnerisch und rechnerisch ermittelt werden können.
Zusätzlich geben einfache Testschaltungen Hinweise, wie man in kurzer Zeit Halbleiterbauelemente auf ihre Funktion und Brauchbarkeit prüfen kann.

Es wurde bewußt darauf verzichtet, Meßmethoden für Feldeffekttransistoren und besonders für integrierte Schaltungen zu bringen. Die Vielzahl der vorhandenen Typen erlauben nicht ein allgemeingültiges Prüfverfahren. Neben eigenen Schaltungen wurden Veröffentlichungen in deutschen und amerikanischen Fachzeitschriften herangezogen und entsprechend ihrer Brauchbarkeit ausgewählt. Für sämtliche Schaltbeispiele wird keine Gewähr bezüglich Patentverletzung übernommen, sie werden lediglich für Amateurzwecke veröffentlicht.

Allgemeine Hinweise

Halbleiterbauelemente sind sehr empfindlich. Um sie nicht „tot zu prüfen" empfiehlt es sich, folgende generelle Richtlinien zu beachten:

1. Sämtliche Spannungsquellen auf den Spannungswert 0 einstellen.
2. Wenn die Meßschaltung dadurch nicht beeinträchtigt wird, ist zwischen der Spannungsquelle und der Schaltung ein Schutzwiderstand zu schalten. Der Schutzwiderstand soll im Falle eines eventuellen Durchbruchs (z. B. bei Z-Dioden, Thyristoren, Vierschichtdioden usw.) den Strom begrenzen. Der Widerstand kann überschlägig aus der höchsten möglichen Speisespannung geteilt durch den höchstzulässigen Strom ermittelt werden.
3. Das Bauelement soll niemals an eine unter Spannung stehende Meßschaltung angeklemmt werden.
4. Stets die Messung mit der kleinstmöglichen Spannung beginnen (siehe auch unter 1.).
5. Während der Messung empfiehlt es sich, das Bauelement auf unzulässige Erwärmung zu kontrollieren. Es genügt ein Berühren mit den Fingerspitzen, um einen Anstieg der Gehäusetemperatur zu bemerken.
6. Werden Messungen wiederholt, so kann es passieren, daß die Meßwerte nicht übereinstimmen. In diesem Fall ist zu überprüfen, ob der gleiche Meßaufbau mit den gleichen Meßgeräten vorgenommen wurde. Es ist durchaus möglich, daß verschiedene Meßgeräte-Innenwiderstände die Abweichung hervorgerufen haben. Ebenso ist zu überprüfen, ob sich die Speisespannung nicht durch Netzspannungsschwankung oder Batteriealterung verändert hat (stabilisiertes Netzteil verwenden!). Auch spielt die Raumtemperatur eine Rolle; fast alle Halbleiterbauelemente reagieren temperaturabhängig.

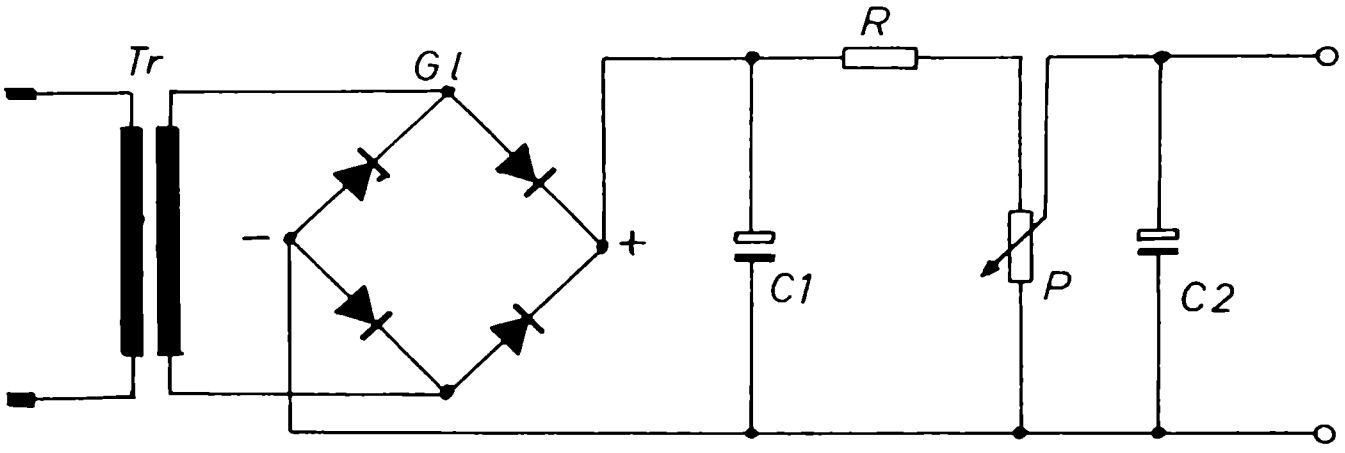
Schaltung 1

Niederspannungs-Netzgerät

Zur Durchführung der Messungen genügt ein einfaches Netzgerät nach nebenstehender Schaltung.
Die von einem kleinen Heiztransformator gelieferte Wechselspannung wird über einen Brückengleichrichter gleichgerichtet. Für die Messungen braucht die Gleichspannung nicht unbedingt brummfrei zu sein, daher genügen zur Siebung zwei Elektrolytkondensatoren je 100 µF. Die einstellbare Gleichspannung wird von einem als Spannungsteiler geschalteten Potentiometer abgenommen.
Diese Schaltungsart besitzt einen verhältnismäßig hohen Innenwiderstand, so daß sich Laststromschwankungen als Spannungsschwankungen bemerkbar machen. Auch ist dieses Netzgerät nicht stabilisiert, so daß sich Netzspannungsschwankungen ebenfalls auswirken. Versuche ergaben jedoch, daß diese Nachteile bei den Messungen nicht stören.

Einzelteilliste:

Tr = Heiztransformator 220 V/12,6 V 0,6 A
Gl = Silizium-Brückengleichrichter B 40 C 1500
R = Widerstand 10 Ω/5 Watt
P = Potentiometer 200 Ω/5 Watt
C = Elektrolytkondensator 100 µF/30 V


Tr
Gl
R
C1
P
C2
–
+

Schaltung 2

Konstantstrom-Zweipol

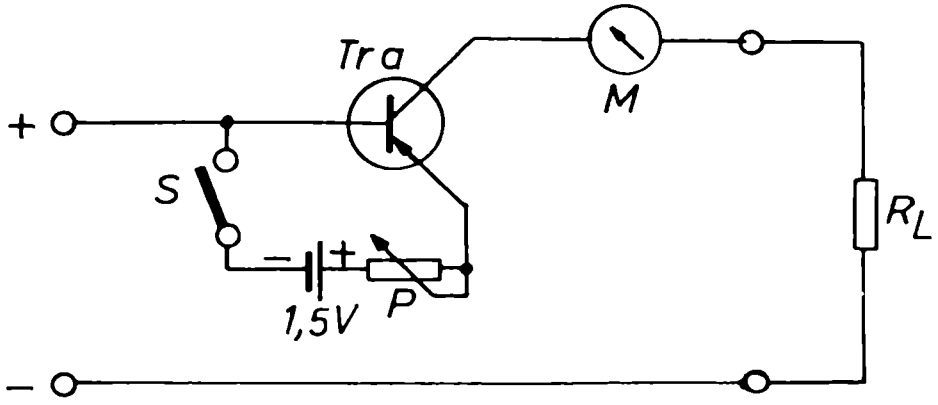
Zur Aufnahme der Strom-Spannungskennlinie an einem Heißleiter (siehe Schaltung 32) benötigt man einen von Last und Eingangsspannung unabhängigen Gleichstrom. Für diesen Zweck wird die nebenstehende Schaltung verwendet.

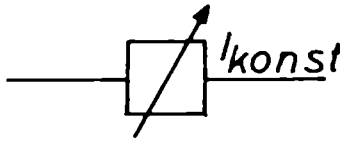
Der Konstantstrom-Zweipol wird zwischen Spannungsquelle und Verbraucher geschaltet. Der mit dem Potentiometer P einstellbare Basis-Emitter-Strom entspricht dem konstant zu haltenden Verbraucherstrom. Erreicht nun der Verbraucherstrom diesen eingestellten Wert, so kann er nicht mehr weiter ansteigen, auch wenn die Eingangsspannung vergrößert wird oder der Lastwiderstand R_L verkleinert wird. Selbst bei Kurzschluß an den Ausgangsklemmen ändert sich der Strom nicht. In diesem Fall muß allerdings der Transistor die volle Leistung aufnehmen und muß daher entsprechende Kühlflächen erhalten.

Mit den in der Liste angegebenen Einzelteilen ist der Zweipol für Spannungen von 1,5 V bis 20 V und Strömen zwischen 10 mA bis 200 mA brauchbar.

Einzelteilliste:

Tra = Transistor (OD 603, OC 30 oder AD 133 o. ä.)
P = Drahtpotentiometer 200 Ω, 5 Watt
M = Milliamperemeter 200 mA (evtl. mit Meßbereichumschalter für kleine Ströme)
S = Ausschalter


Tra
M
+
S
1,5V
P
R_L
–

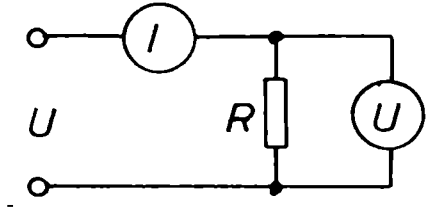

Ikonst

Schaltung 3

Strom- und Spannungsmessung - aber wie?

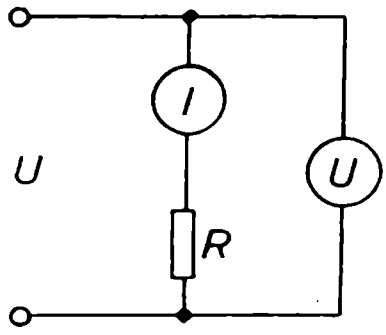
Jede Messung ist mit Fehlern behaftet, entweder bedingt durch das Meßverfahren oder durch die verwendeten Meßgeräte. Wenn der dabei stets auftretende Fehler jedoch bekannt ist, so kann sein Einfluß bei der Auswertung berücksichtigt werden.
Auch bei einer einfachen Spannungs- und Strommessung kann eine Eigenschaft des Meßverfahrens die Messung verfälschen. Da fast bei allen Kennlinienaufnahmen eine Strom-Spannungs-Messung vorkommt, soll der Fehlereinfluß näher erläutert werden.

a) Spannungsrichtige Schaltung
Bei der spannungsrichtigen Schaltung (a) mißt das Voltmeter die tatsächliche, am Widerstand R anliegende Spannung. Der Strommesser mißt jedoch die Summe der durch Widerstand R und Voltmeter fließenden Ströme. Es wird also zuviel Strom angezeigt. Man kann nun diesen Stromfehler eliminieren, wenn man für verschiedene Spannungen den durch das Voltmeter fließenden Strom ermittelt und dann bei der Messung entsprechend vom Gesamtstrom abzieht.
Bei hochohmigen Voltmetern (Röhrenvoltmeter) kann der zusätzlich fließende Strom ohne weiteres vernachlässigt werden, besonders dann, wenn der Widerstand R sehr klein ist.



a

U - richtig
I - falsch



b

I - richtig
U - falsch

b) Stromrichtige Schaltung
Bei der stromrichtigen Schaltung wird der durch den Widerstand R fließende Strom richtig angezeigt. Dieser Strom verursacht jedoch wegen des Meßwerk-Innenwiderstandes einen Spannungsabfall am Strommesser, so daß die Spannung am Widerstand R kleiner ist, als die Spannung U. Wenn der Innenwiderstand des Strommessers bekannt ist, kann der jeweilige Spannungsabfall rechnerisch ermittelt und entsprechend berücksichtigt werden.

Als Merkregel kann gelten:

Bei kleinen Widerständen und hohen Strömen
= spannungsrichtige Schaltung
Bei großen Widerständen und kleinen Strömen
= stromrichtige Schaltung

Schaltung 4

Prüfung von Germanium- und Silizium-Dioden

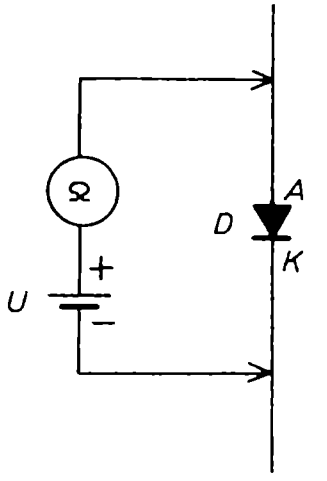
Kennzeichnend für Dioden ist, daß sie einen Gleichstrom nur in einer Richtung, der Durchlaß- oder Flußrichtung, durchlassen. In der anderen Richtung, der Sperrichtung, wird dem Strom ein verhältnismäßig hoher Widerstand entgegengesetzt. Auf dieses Verhalten bezieht sich die Prüfschaltung.

Mit dieser Schaltung ist es möglich

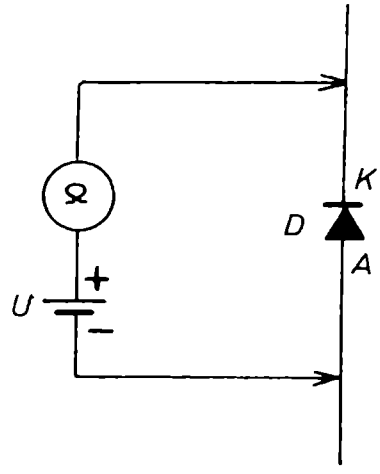
1. die Anschlüsse (Anode, Katode) zu identifizieren und
2. Aussage über die Brauchbarkeit der Diode zu treffen.

1. Anschlüsse identifizieren

Die Polarität der Ohmmeter-Anschlüsse muß bekannt sein. Erhält man bei der Messung der Diode einen niederen Widerstandswert (etwa 100 Ω), so liegt der Pluspol des Ohmmeters an der Anode der Diode. Ein kaum sichtbarer Ausschlag des Ohmmeters oder ein hoher Widerstand (etwa 200 kΩ bis 1 MΩ) zeigt, daß die Diode in Sperrichtung an das Ohmmeter angeschlossen wurde. In diesem Fall liegt der Pluspol des Ohmmeters an der Katode.



R = sehr klein



R = sehr groß

2. Brauchbarkeit

Zeigt sich bei beiden Messungen jeweils ein kleiner Widerstandswert, so ist die Diode kurzgeschlossen. Unterbrochen ist die Diode, wenn man bei den Messungen in Fluß- und Sperrichtung keinen Ausschlag des Ohmmeters erhält.

Nach dieser Methode können nur Germaniumdioden und Siliziumdioden (bzw. Siliziumgleichrichter) geprüft werden. Bei Selen-Netzgleichrichtern liegt die Gesamtschleusenspannung (bedingt durch die Serienschaltung der einzelnen Selentabletten) bei etwa 4 bis 6 V. Die Meßspannung der meisten Ohmmeter beträgt jedoch nur 1,5 V, so daß damit die Messung an einem Selengleichrichter ein falsches Ergebnis liefert (hoher Widerstand in beiden Richtungen).

Schaltung 5

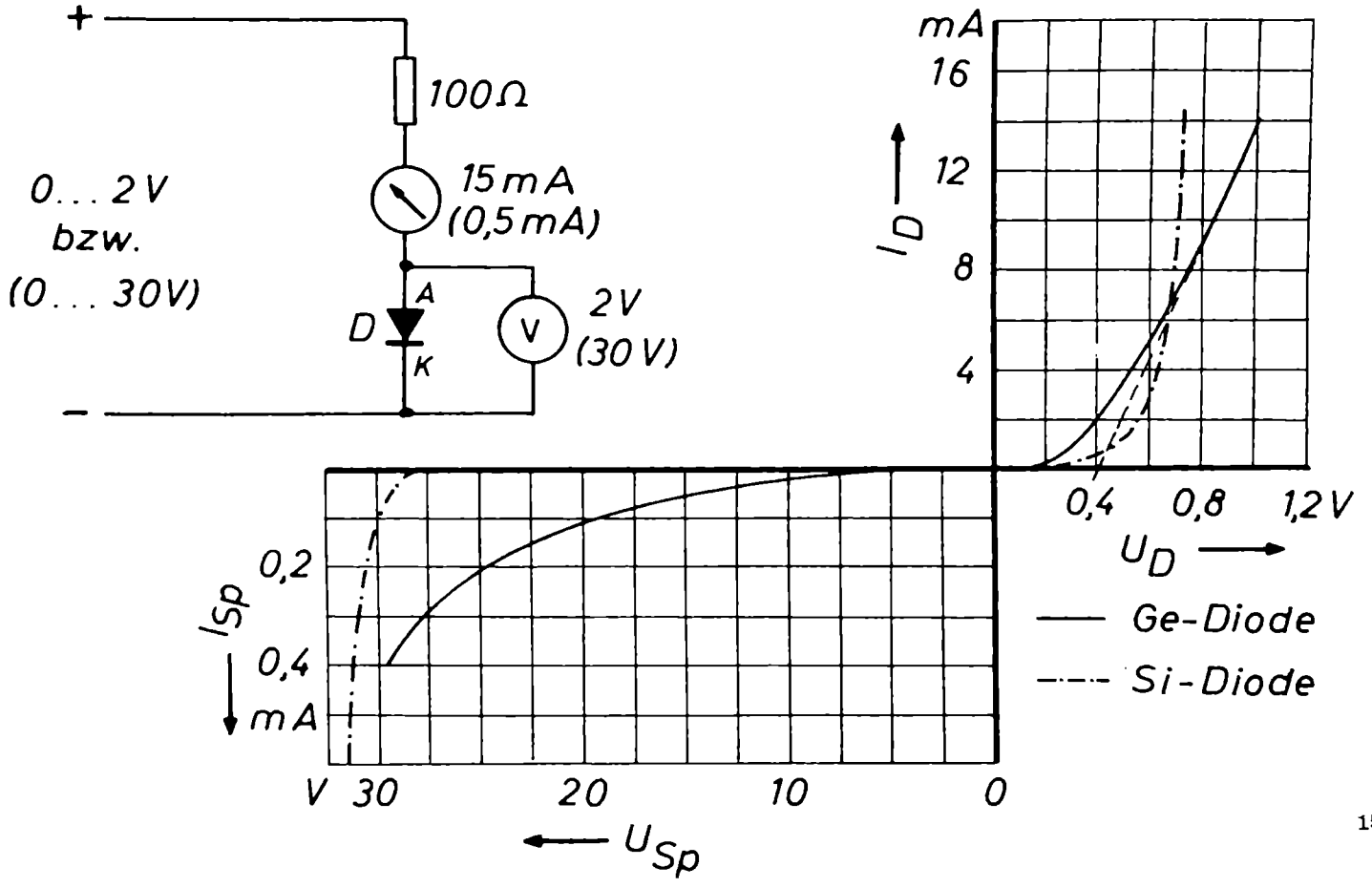
Kennlinie von Dioden

Die Kennlinie einer Diode veranschaulicht die Abhängigkeit des durchfließenden Stromes von der anliegenden Spannung. Mit dieser Schaltung kann die Kennlinie Punkt für Punkt aufgenommen werden.

a) Durchlaßkennlinie
Die Schwierigkeit der Messung besteht darin, daß innerhalb eines kleinen Spannungsbereiches (0 bis 2 V) der Diodenstrom sehr steil ansteigt. Innerhalb dieses Spannungsbereiches muß man die Spannung sehr genau einstellen und am Voltmeter gut ablesen können. Voltmeter, deren kleinster Meßbereich 0 bis 10 V beträgt, sind für diese Messung wenig geeignet.

b) Sperrkennlinie
Der Sperrstrom einer Diode ist sehr klein. Das bedeutet, daß man zur Spannungsmessung ein hochohmiges Voltmeter verwenden muß. Andernfalls benutzt man zur Messung die „stromrichtige" Schaltung (siehe Schaltung 3).
Bei der Messung des Sperrstromes kann man gleichzeitig die Temperaturabhängigkeit feststellen. Man braucht die Diode nur kurzzeitig zwischen die Finger nehmen — der Sperrstrom steigt sofort an. Im Gegensatz dazu ist der Flußstrom weniger temperaturabhängig.

c) Auswertung
Zeichnet man die Kennlinien auf, so müssen für Sperr- und Durchlaßrichtung zwei verschiedene Strom- und Spannungsmaßstäbe benutzt werden. In der Darstellung mußte für die Durchlaßrichtung ein Strombereich von 0 bis 16 mA bei einem Spannungsbereich von 0 bis 1,2 V und in der Sperrichtung ein Strombereich von 0 bis 600 µA bei einem Spannungsbereich von 0 bis 30 V verwendet werden.
In die Darstellung wurden die Kennlinien einer Germaniumdiode und einer Siliziumdiode eingetragen. Man erkennt, daß die Kennlinie einer Siliziumdiode wesentlich steiler verläuft.
Die Tangente an die Kennlinie der Germaniumdiode schneidet die Spannungsachse bei etwa 0,4 V. Diesen Spannungswert nennt man die „Schleusenspannung" und definiert damit die Durchlaßspannung, die dem Übergang zwischen exponentiellem und nahezu linearem Anstieg des Durchlaßstromes zugeordnet ist.


+
100Ω
15mA
(0,5mA)
0...2V
bzw.
(0...30V)
A
D
K
V
2V
(30V)
−
mA
16
12
8
4
I_D
0,4
0,8
1,2V
U_D
Ge-Diode
Si-Diode
0,2
0,4
mA
I_{Sp}
V 30
20
10
0
U_{Sp}

Schaltung 6

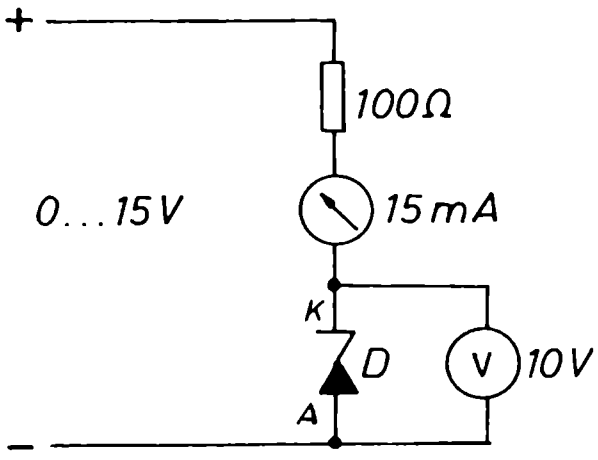
Kennlinie einer Zenerdiode

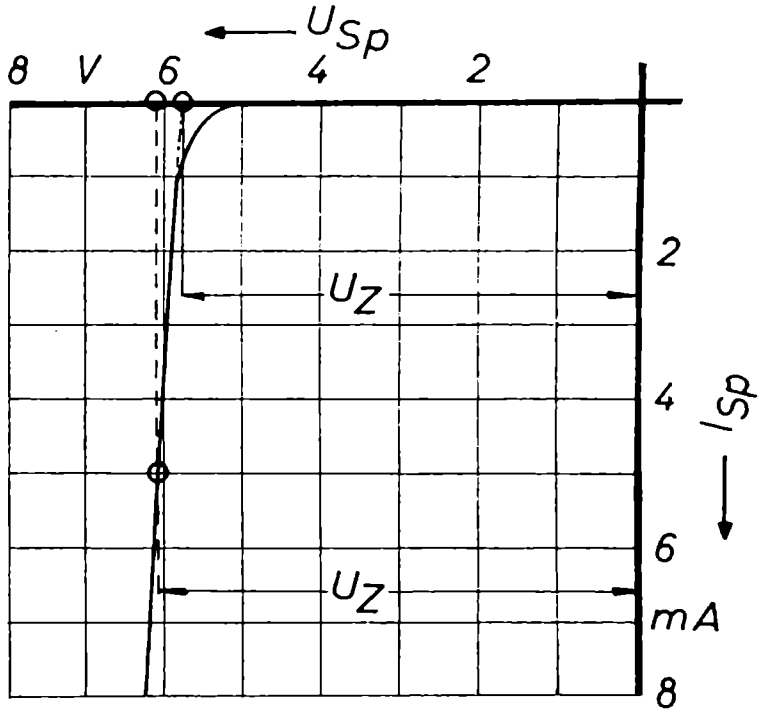
Zenerdioden sind Siliziumdioden mit einer verhältnismäßig geringen Durchbruchspannung im Sperrbereich. Ihrem Verwendungszweck entsprechend werden sie in diesem Bereich betrieben (Stabilisieren von kleinen Gleichspannungen).

Erhöht man von Null ausgehend den Wert der Sperrspannung, so wird ein Punkt erreicht, an dem sich die an der Diode liegende Spannung nur noch wenig ändert. Der durchfließende Strom steigt jedoch sehr steil an. In diesem Bereich verursacht demnach eine kleine Spannungsänderung eine große Stromänderung.

Die Durchbruchspannung im Sperrbereich bezeichnet man als „Zenerspannung". Die Festlegung des Wertes ist unterschiedlich. Einmal wird als Zenerspannung die Durchbruchspannung bei einem Meßstrom von 5 mA angegeben. Nach einer anderen Darstellungsart verlängert man den steilen Kennlinienabschnitt rückwärts bis zum Schnittpunkt mit der Spannungsachse und erklärt den erhaltenen Wert zur Zenerspannung.

Zenerdioden können auch im Durchlaßbereich betrieben werden. Die Katode wird dabei an den Minuspol der Spannungsquelle angeschlossen. Die erhaltene Zenerspannung ist in jedem Fall kleiner als 1 V.


+
100Ω
0...15V
15mA
K
D
V
10V
A
−


U_{Sp}
8 V 6 4 2
2
4
6
8
I_{Sp}
mA
U_Z
U_Z

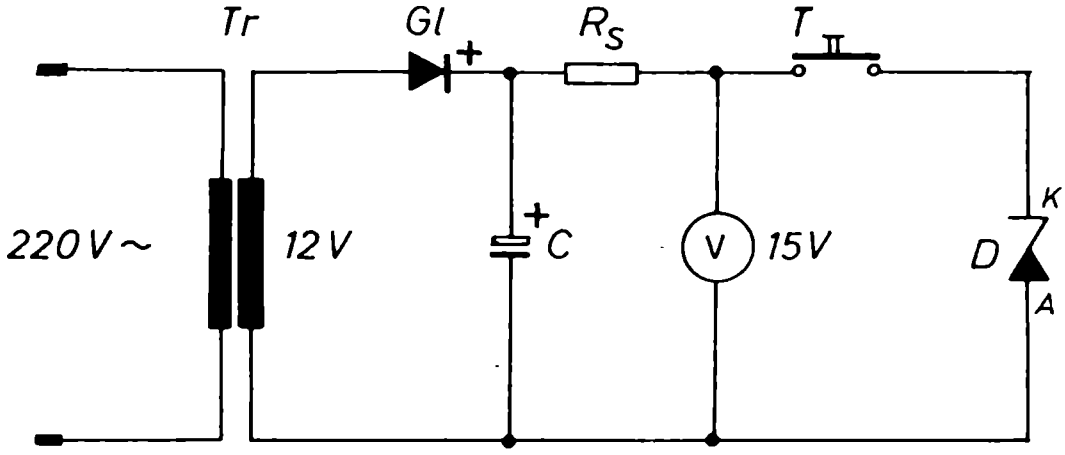
Schaltung 7

Testschaltung für Zenerdioden

Zum schnellen Ermitteln der Zenerspannung eignet sich diese Testschaltung.
Die von einem kleinen Heiztransformator gelieferte Wechselspannung wird gleichgerichtet und die erhaltene Gleichspannung durch einen Elektrolytkondensator geglättet. Das Voltmeter zeigt die Leerlaufspannung an; der Widerstand R_S hat bei einem hochohmigen Voltmeter keinen Einfluß.
Drückt man nun bei angeschlossener Zenerdiode die Taste T, so erhält man als Anzeige am Voltmeter die Zenerspannung. Der Widerstand R_S dient in diesem Fall als Schutzwiderstand und begrenzt den Strom durch die Zenerdiode.
Die Testschaltung ist hinreichend genau, eignet sich aber nur für Zenerspannungen bis etwa 10 V.

Einzelteilliste:

Tr = Heiztransformator 220 V/12,6 V; 0,6 A
Gl = Kleingleichrichter (etwa BYY 31 o. ä.)
C = Elektrolytkondensator 100 µF/30 V
R_S = Schutzwiderstand 500 Ω/1 W
V = Voltmeter mit 15 V Vollausschlag, Innenwiderstand 15 kΩ
T = „Ein"-Taste


Tr
Gl
+
R_S
T
II
220V~
12V
+
C
V
15V
K
D
A

Schaltung 8

Prüfen von Kapazitätsdioden

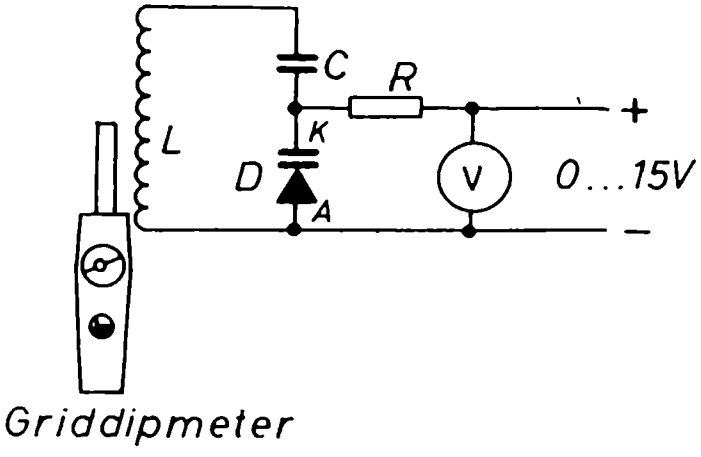
Kapazitätsdioden sind Siliziumdioden, deren Sperrschicht-Kapazität spannungsabhängig ist. Erhöht man die angelegte Sperrspannung, so nimmt die Kapazität ab.
Eine genaue Messung der Kenndaten von Kapazitätsdioden erfordert einen größeren Meßaufbau. Zum Nachweis der Eigenschaften genügt jedoch eine einfache Prüfschaltung. Als Meßgerät dient ein Griddipmeter.
Aufgebaut wird ein einfacher LC-Kreis, dessen Resonanzfrequenz durch die Spule L und den in Serie geschalteten Kapazitäten von C und D bestimmt wird. Der Kondensator C = 500 pF dient zur galvanischen Trennung der Spule L von der Gleichspannungsquelle. Da die Kondensatorkapazität im Verhältnis zur Sperrschichtkapazität der Diode sehr groß ist, wird die Resonanzfrequenz des Kreises hauptsächlich durch die Diodenkapazität bestimmt. Der Vorwiderstand R = 50 kΩ soll eine Dämpfung des Spulenkreises durch die Spannungsquelle vermeiden. Da durch den sehr kleinen Sperrstrom kaum ein Spannungsabfall an dem Widerstand R entsteht, kann das Voltmeter direkt an die Spannungsquelle angeschlossen werden.
Mit einem Griddipmeter wird die Resonanzfrequenz des Kreises bestimmt. Erhöht man nun die an die Diode angelegte Spannung, so sinkt die Sperrschichtkapazität. Das bedeutet, daß die Resonanzfrequenz des Kreises ansteigt. Dieses Ansteigen der Resonanzfrequenz kann mit dem Griddipmeter verfolgt werden.
Die Kapazitätsänderung ist umgekehrt quadratisch der Frequenzänderung. Für die Kennliniendarstellung wählt man eine Bezugsspannung (im allgemeinen 2 V) und bezieht auf diesen Spannungswert die Frequenz- bzw. Kapazitätsänderung. Das Kapazitätsverhältnis beträgt für eine beliebige Meßspannung U_R

$$\frac{C_R}{C_{2v}} = \left(\frac{f_{2v}}{f_R}\right)^2$$

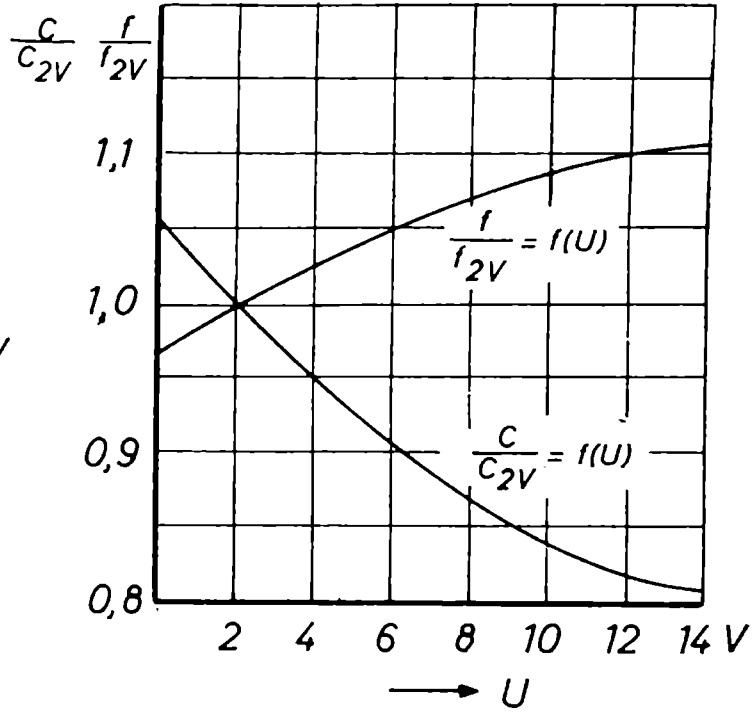
Dabei ist

C_{2v} = Kreiskapazität bei Meßspannung U = 2 V
C_R = Kreiskapazität bei einer beliebigen Meßspannung U_R
f_{2v} = Resonanzfrequenz des Kreises bei einer Meßspannung U = 2 V
f_R = Resonanzfrequenz des Kreises bei einer beliebigen Meßspannung U_R

Trägt man die errechneten Kapazitätsverhältnisse $\frac{C_R}{C_{2v}}$ in Abhängigkeit von der Meßspannung auf, so erhält man die typische Kennlinie einer Kapazitätsdiode.



Griddipmeter



Schaltung 9

Strom- und Spannungsverhalten einer Tunnel-Diode

Eine Tunneldiode (nach dem Entdecker der Eigenschaften auch Esaki-Diode genannt) hat im Gegensatz zu anderen Dioden keine ausgeprägte Sperrwirkung. In der Durchlaßrichtung (Pluspol der Spannungsquelle an Anode) weist sie sogar ein Gebiet mit fallender Stromspannungskennlinie, also eine Bereich mit negativem Widerstand auf.

Eine Tunneldiode wird gemäß nebenstehender Schaltung geprüft. Eine Prüfung mit einem Ohmmeter ist nicht zulässig, weil die Meßspannung die Diode bereits zerstören kann.

Die Betriebsspannung wird einem doppelten Spannungsteiler, bestehend aus P, R 1 und R 2, entnommen. Der Spannungsteiler liegt an einer Gleichspannung von höchstens 4 V, so daß im ungünstigsten Fall (Schleifer des Potentiometers in der oberen Stellung) nur eine Spannung von maximal 360 mV an der Tunneldiode anliegen kann. Der Strommesser, Meßbereich etwa 5 mA, muß sehr niederohmig sein (Innenwiderstand $< 10\ \Omega$). Wenn nämlich der Meßkreiswiderstand = Innerer Widerstand des Spannungsteilers + Innenwiderstand des Strommessers höher ist, als der negative Widerstand der Tunneldiode, erzeugt die Meßschaltung niederfrequente Schwingungen. Der Spannungsmesser, Meßbereich umschaltbar 100/500 mV, muß sehr hochohmig sein.

Steigert man die an der Tunneldiode anliegende Spannung mit Hilfe des Potentiometers P, so erhöht sich auch der durchfließende Strom proportional bis zu einem Höchstwert. Bei weiterem Steigern der Spannung sinkt der Strom wieder ab bis zu einem Kleinstwert. Erhöht man die Spannung weiter, so steigt auch der Strom wieder an; er folgt wieder proportional der Spannungssteigerung.

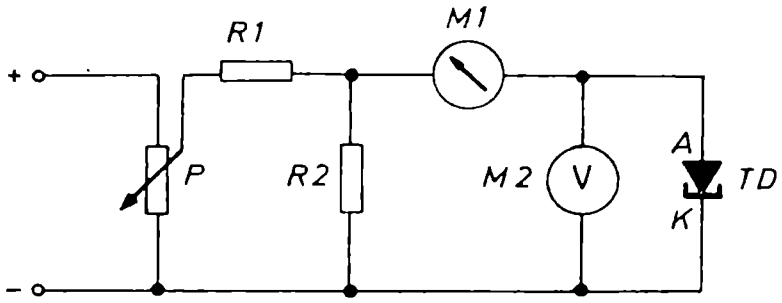
Die Ströme und Spannungen an den einzelnen Punkten nennt man Höckerstrom I_H und Höckerspannung U_H, bzw. Talstrom I_T und Talspannung U_T.

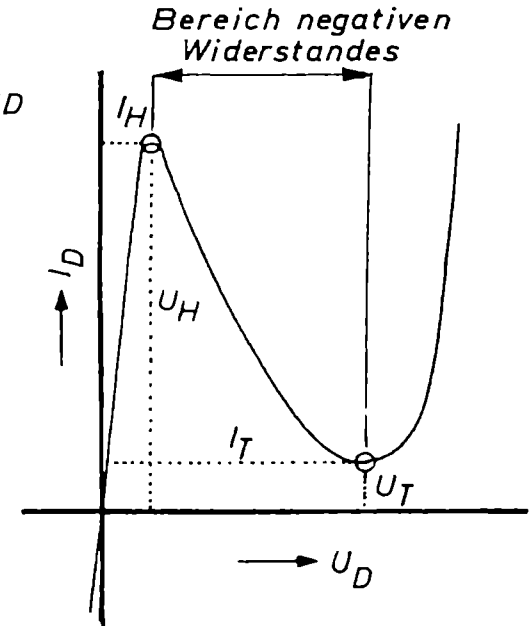
Übliche Werte dafür sind

Höckerspannung	50— 80 mV
Höckerstrom	0,5— 10 mA
Talspannung	250—450 mV
Talstrom	0,1— 1 mA

Einzelteilliste:

P	=	Drahtpotentiometer 200 Ω/2 W
R 1	=	Schichtwiderstand 100 Ω/½ W
R 2	=	Schichtwiderstand 10 Ω/½ W
M 1, M 2	=	siehe Text


R1
M1
+
P
R2
M2
V
A
TD
K
–


Bereich negativen
Widerstandes
I_H
I_D
U_H
I_T
U_T
U_D

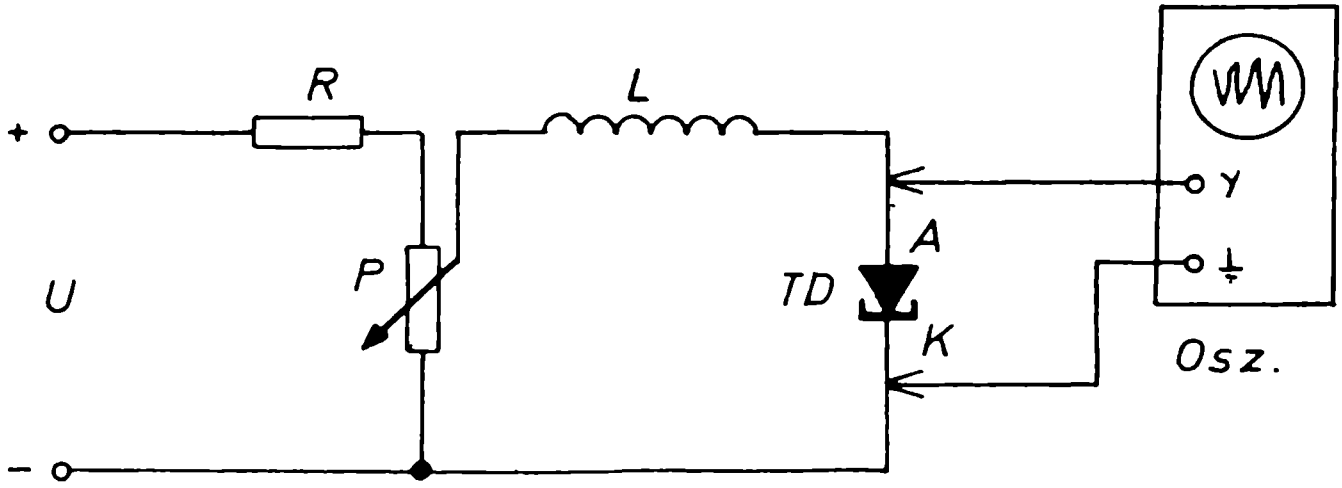
Schaltung 10

Testschaltung für Tunnel-Dioden

Mit dieser einfachen Testschaltung kann man das Verhalten einer Tunneldiode im schwingenden Zustand überprüfen. Steigert man mit dem Potentiometer P die Betriebsspannung an der Tunneldiode, so wird ein Punkt erreicht, bei dem die Meßanordnung zu schwingen beginnt. Die erzeugten Schwingungen kann man am angeschlossenen Oszillographen verfolgen. Die Frequenz läßt sich in Abhängigkeit von der Spannung einstellen. Die Schwingungen haben keine Sinusform, sie entsprechen positiven Impulsen, wie sie z. B. in einer Unijunctiontransistor-Kippschaltung erzeugt werden. Nach Überschreiten der Talspannung brechen die Schwingungen ab.
Maßgeblich für die Selbsterregung der Schaltung ist das Zusammenwirken von der Induktivität L, der Tunneldiodenkapazität, dem negativen Widerstand der Tunneldiode und dem Innenwiderstand des Spannungsteilers.

Einzelteilliste:

R = Schichtwiderstand 200 Ω/½ W
P = Potentiometer 20 Ω/½ W
L = Drossel 5 mH
U = Gleichspannung max. 4 V


R
L
+
U
P
TD
A
K
Y
Osz.
–

Schaltung 11

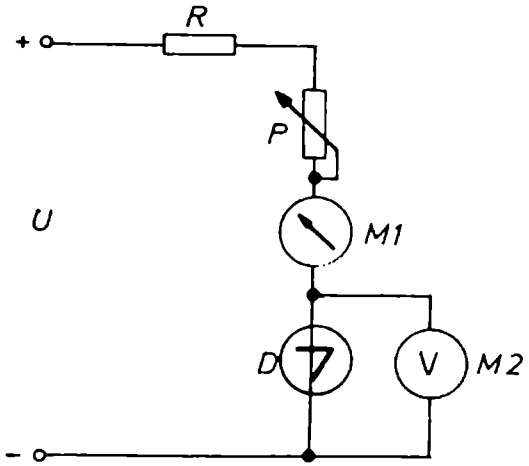
Strom-Spannungs-Verhalten einer Vierschicht-Diode

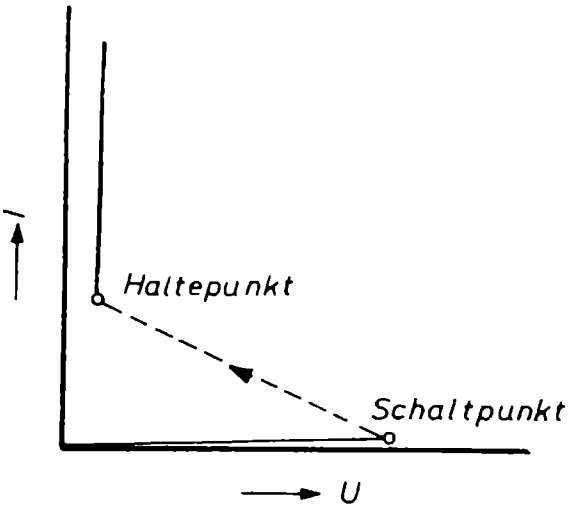
Eine Vierschichtdiode wird wie eine normale Diode in Durchlaßrichtung angeschlossen. Sie verhält sich aber vollkommen verschieden:
Erhöht man die an einer Vierschichtdiode liegende Gleichspannung, so wird ein Punkt erreicht, bei dem sie schlagartig vom sperrenden Zustand in den leitenden übergeht. Vor Erreichen dieses Spannungswertes, der Schaltspannung, fließt nur ein geringer Strom. Nach Überschreiten der Schaltspannung ist der innere Widerstand der Vierschichtdiode so klein, daß der nun fließende Strom durch Schutzwiderstände begrenzt werden muß, damit der zulässige Grenzwert nicht überschritten wird. Die Vierschichtdiode bleibt im leitenden Zustand, solange ein Mindestwert des Stromes, der Haltestrom, nicht unterschritten wird.
Mit der Prüfschaltung kann man die Schaltspannung und den Haltestrom ermitteln.

a) Schaltspannung
Das Potentiometer P ist so eingestellt, daß nur der Schutzwiderstand R wirksam ist. Nun regelt man die Gleichspannung U solange hoch, bis die Diode leitend wird. Der Spannungsmesser zeigt dann eine Spannung von 0,7 bis 1,5 V an, während das Milliamperemeter den dann fließenden Strom mißt. Die kurz vor dem Durchbruch gemessene Spannung ist die Schaltspannung. Sie liegt bei den üblichen Vierschichtdioden zwischen 20 bis 200 V.
b) Haltestrom
Wenn die Diode durchgeschaltet hat, verringert man die Gleichspannung U soweit, daß im Meßkreis nur noch ein Strom in der Höhe des ungefähren Haltestromes fließt. Nun vergrößert man den Widerstand des Potentiometers P, bis die Diode wieder in den Sperrzustand zurückkippt. Der kurz davor gemessene Strom ist der Haltestrom; er liegt in der Größerordnung von 1 bis 50 mA und verringert sich mit steigender Temperatur.

Einzelteilliste:

R	=	Schutzwiderstand 2 W, je nach Schaltspannung zwischen 400 Ω (bei 20 V) bis 4 kΩ (bei 200 V)
P	=	Potentiometer 2 W, je nach Schaltspannung zwischen 5 kΩ (bei 20 V) bis 50 kΩ (bei 200 V)
M 1	=	Milliamperemeter 100 mA Vollausschlag
M 2	=	Voltmeter, umschaltbar 20/100/300 V, Innenwiderstand 2 kΩ/V


R
+
P
U
M1
D
V
M2
-


I
Haltepunkt
Schaltpunkt
U

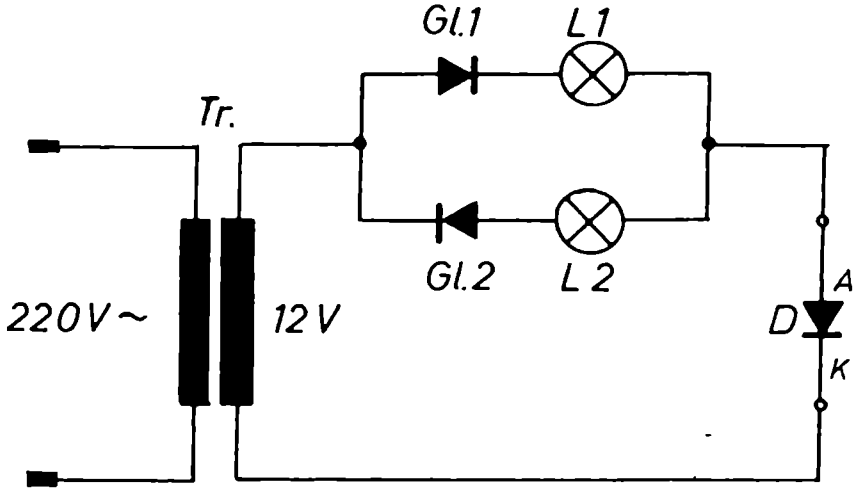
Schaltung 12

Testschaltung für Silizium-Gleichrichter

Diese Testschaltung eignet sich vor allem für Silizumdioden, die als Netzgleichrichter verwendet werden. Man kann einmal die Polarität der Gleichrichterdiode feststellen und gleichzeitig die Brauchbarkeit beurteilen.
Ist die zu prüfende Gleichrichterdiode in Ordnung und richtig gepolt angeschlossen, so wird der vom Transformator Tr gelieferte Wechselstrom gleichgerichtet und fließt über Diode Gl1 durch die Lampe L1. Da die Diode Gl2 entgegengesetzt gepolt ist, bleibt die Anzeigelampe L2 dunkel. Ist der Gleichrichter kurzgeschlossen, so leuchten beide Lampen auf; bei Unterbrechung bleiben beide Anzeigelampen dunkel.
In der nebenstehenden Tabelle sind die Prüfergebnisse und die dazugehörigen Aussagen zusammengestellt.

Einzelteilliste:

Tr	=	Heiztransformator 220 V/12,6 V; 0,6 A
Gl 1, Gl 2	=	Kleinleistungsgleichrichter (BYY 31 o. ä.)
L 1, L 2	=	Skalenlampen 12 V/0,1 A



Lampe L 1	Lampe L 2	Gleichrichterdiode
leuchtet nicht	leuchtet nicht	unterbrochen
leuchtet	leuchtet	kurzgeschlossen
leuchtet	leuchtet nicht	in Ordnung, polrichtig angeschlossen
leuchtet nicht	leuchtet	in Ordnung, jedoch polverkehrt angeschlossen

Schaltung 13

Diodenprüfung - oszillografisch

Verfügt man über einen Oszillografen, so lassen sich mit einem einfachen Hilfsgerät die Kennlinien von Dioden darstellen.

Die zu prüfende Diode wird über einen 10-kΩ-Widerstand an eine Wechselspannung angeschlossen. Die Katode der Diode liegt dabei an einem Pol der Meßspannung. Als Spannungsquelle kann ein Heiztransformator mit einer Sekundärspannung von 6,3 V verwendet werden. Der X-Eingang des Oszillografen wird an den diodenseitigen Pol der Meßspannung angeschlossen, der Y-Eingang an den widerstandsseitigen Pol. Der Masseanschluß kommt an den Verbindungspunkt Widerstand-Diode. Beide Verstärker des Oszillografen müssen auf die gleiche Ablenkempfindlichkeit eingestellt werden.

Bei der idealen Diode ist der Durchlaßwiderstand gleich Null. Somit entsteht bei der positiven Halbwelle ein Spannungsabfall am Widerstand R, der vom Y-Verstärker angezeigt wird (senkrechte Linie). In der negativen Halbwelle ist der Sperrwiderstand unendlich groß. Es liegt nun eine Spannung an der Diode, die vom X-Verstärker (waagrechte Linie) angezeigt wird.

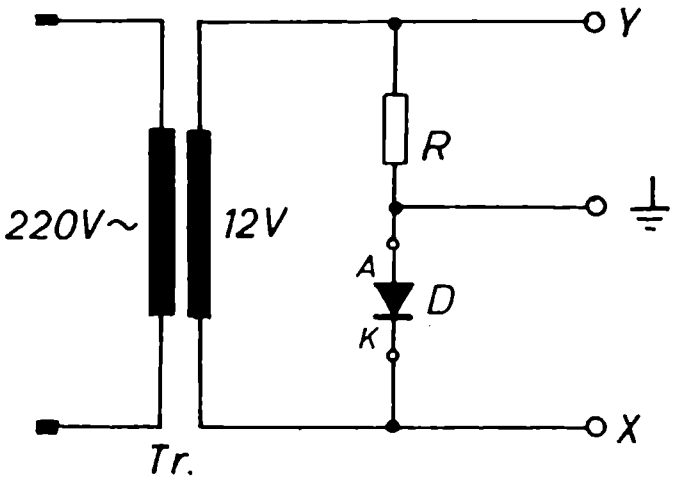
Im Kurzschlußfall einer Diode ist auch der X-Verstärker kurzgeschlossen. Der Y-Verstärker zeigt in diesem Fall die volle Meßspannung (pos. und neg. Halbwelle), die nun direkt am Widerstand R liegt.

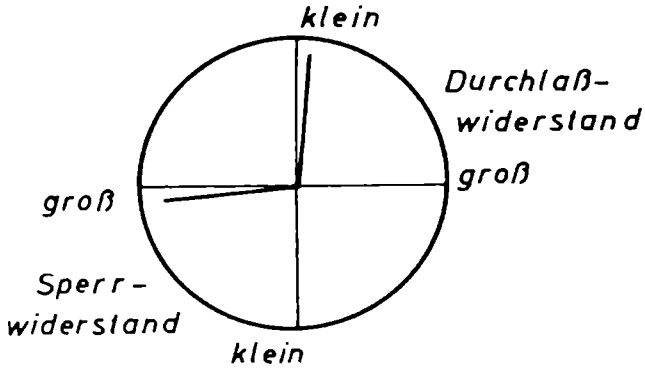
Ist die Diode unterbrochen, so kann durch den Widerstand R kein Strom fließen (es entsteht also auch kein Spannungsabfall). Die volle Meßspannung wird nun vom X-Verstärker angezeigt. Die Gerade ist leicht nach links unten geneigt, da durch die Spannungsteilerschaltung Widerstand R — Eingangswiderstand des X-Verstärkers ein geringer Spannungsabfall am Widerstand R vom Y-Verstärker angezeigt wird.

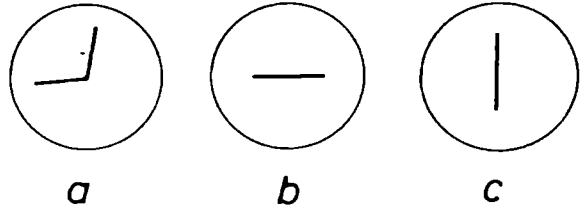
Für die Auswertung der Kennlinie gilt:

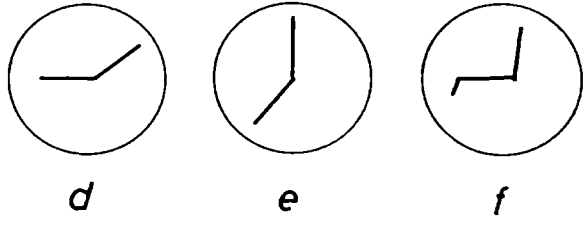
Der Durchlaßwiderstand wird auf dem Oszillografenschirm im rechten oberen Quadranten dargestellt,

der Sperrwiderstand im linken unteren Quadranten.









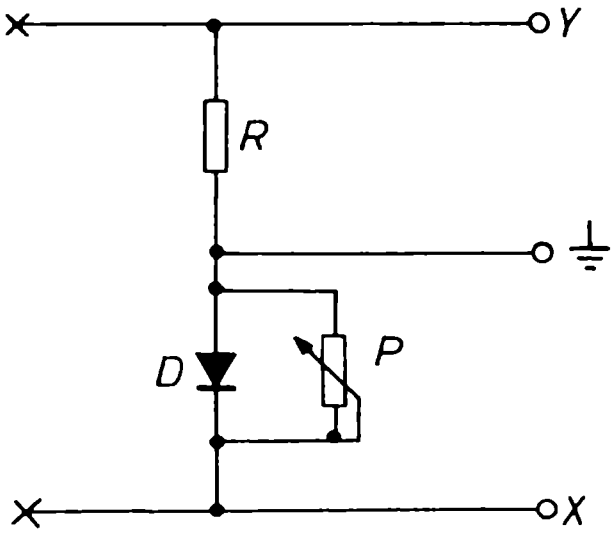
Die gezeigten Kennlinienbilder haben folgende Bedeutung:

a) Einwandfrele Diode
b) Unterbrochene Diode
c) Kurzgeschlossene Diode
d) Durchlaßwiderstand zu groß
e) Sperrwiderstand zu klein
f) Kennlinie einer Zenerdiode

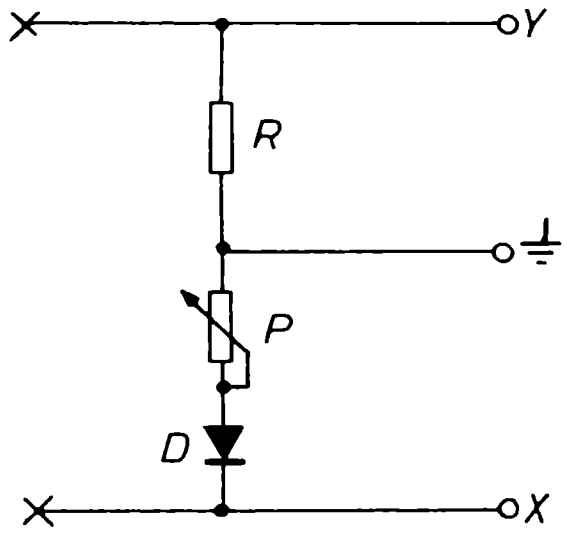
Schaltung 14

Eichung des Hilfsgerätes

Man sucht sich eine Diode aus, deren Kennlinie möglichst gut ist. Durch Zuschalten von verschiedenen Widerständen kann man den Sperr- bzw. Durchlaßwiderstand künstlich verschlechtern.
Der Sperrwiderstand wird durch Parallelschalten eines Potentiometers und der Durchlaßwiderstand durch eine Serienschaltung eines Potentiometers mit der Diode verändert. Am besten verwendet man zwei Potentiometer mit den Werten 500 kΩ und 10 kΩ.
Je nach eingestelltem Widerstand ergeben sich verschiedene Neigungen der Kennlinienteile. Als Anhaltspunkt gilt, daß ein zugeschalteter Widerstand von 10 kΩ eine Neigung des jeweiligen Kennlinienteils von 45 ° ergibt.



a) Sperrwiderstand



b) Durchlaßwiderstand

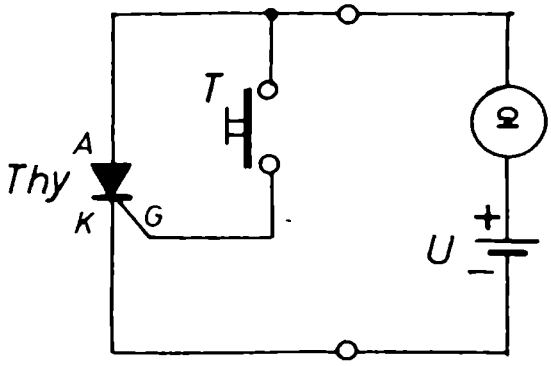
Schaltung 15

Thyristorprüfung

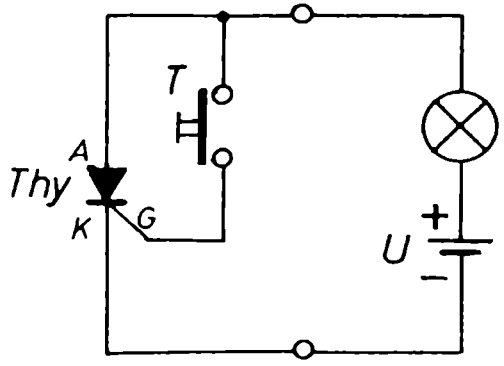
Ein Thyristor ist eine schaltbare Diode, die im ungezündeten Zustand in beiden Richtungen sperrt. Ein positiver Impuls auf die Steuerelektrode bringt diese Diode vom nichtleitenden in den leitenden Zustand. Dieses Verhalten nützen die beiden Prüfgeräte aus:

a) Thyristorprüfung mit Ohmmeter
Der Pluspol des Ohmmeters wird an die Anode, der Minuspol an die Katode des Thyristors angeschlossen. Verbindet man nun kurz die Steuerelektrode mit der Anode des Thyristors (entsprechend dem Pluspol des Ohmmeters), so zündet der Thyristor. Er behält diesen Zustand bei, ohne daß weiterhin Spannung an der Steuerelektrode liegt. Er schaltet erst wieder in den nichtleitenden Zustand zurück, wenn die Verbindung mit dem Ohmmeter gelöst wird.

b) Thyristorprüfung mit Durchgangsprüfer
Anstelle eines Ohmmeters kann man auch die bekannten Leitungsprüfer mit der Glühlampe oder Schauzeichen, z. B. den „Testboy", verwenden. Der Prüfvorgang ist der gleiche wie oben beschrieben.



a) Ohmmeter



b) Durchgangsprüfer

U mind. 3V

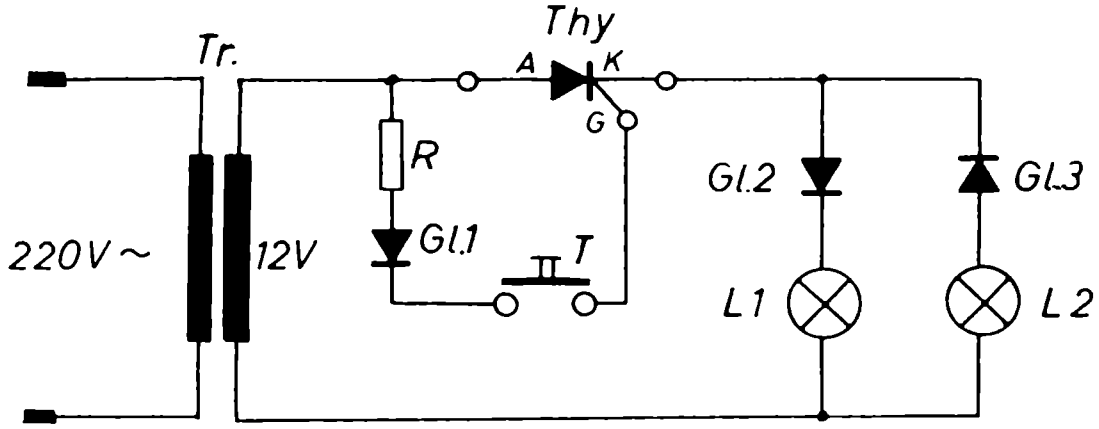
Schaltung 16

Testschaltung für Thyristoren

Erweitert man Schaltung 12 um eine Taste, einen Widerstand und einen Gleichrichter, so können Thyristoren auf ihre Brauchbarkeit geprüft werden.
Zur Vorprüfung wird der Thyristor angeschlossen, die Taste T jedoch nicht gedrückt. Die Anzeigelampen müssen dunkel bleiben. Leuchtet Anzeigelampe L1, so besteht ein Durchbruch des Thyristors in Durchlaßrichtung. Leuchtet Lampe L2, so liegt ein Durchbruch in Sperrichtung vor.
Ist der Thyristor soweit in Ordnung, wird zur Funktionsprüfung die Taste T gedrückt. Der Thyristor erhält eine positive Steuerspannung und schaltet durch. Da der Thyristor an Wechselspannung liegt und er bei Unterschreitung des Haltestromes bzw. Übergang zur negativen Halbwelle wieder abschalten würde, muß die Taste dauernd gedrückt werden. Bei intaktem Thyristor muß die Anzeigelampe L1 aufleuchten. Leuchtet Lampe L1 nicht, so ist die Steuerelektrode im Innern des Thyristors unterbrochen.
Die Anzeigelampe L2 darf bei der Funktionsprüfung in keinem Fall aufleuchten.

Zusätzliche Einzelteile:

R = Schutzwiderstand 10 kΩ
Gl = Kleingleichrichter (BYY 34 o. ä.)
T = „Ein-"Taste

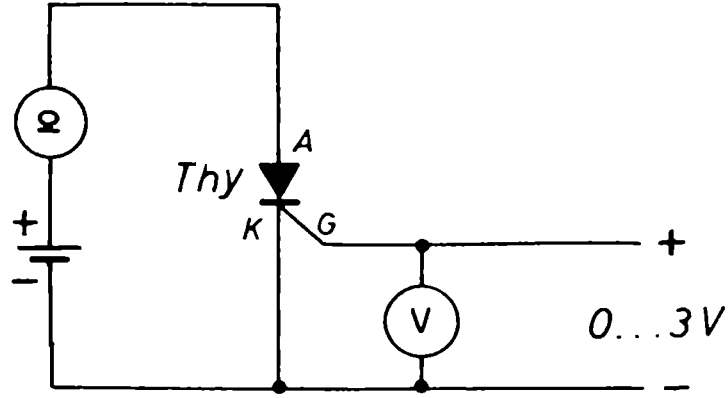

Thy
Tr.
A
K
G
R
Gl.2
Gl.3
220V~
12V
Gl.1
T
L1
L2

Ermitteln der Thyristorkennwerte

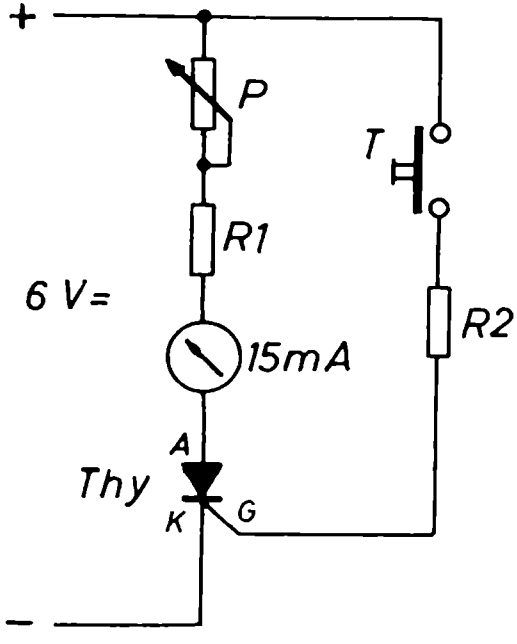
Einzelteilliste:

M 1 = Milliamperemeter 15 mA Vollausschlag
M 2 = Voltmeter 5 V Vollausschlag
R = Widerstand 500 Ω
P 1 = Potentiometer 10 kΩ
P 2 = Potentiometer 200 Ω
S = Ausschalter

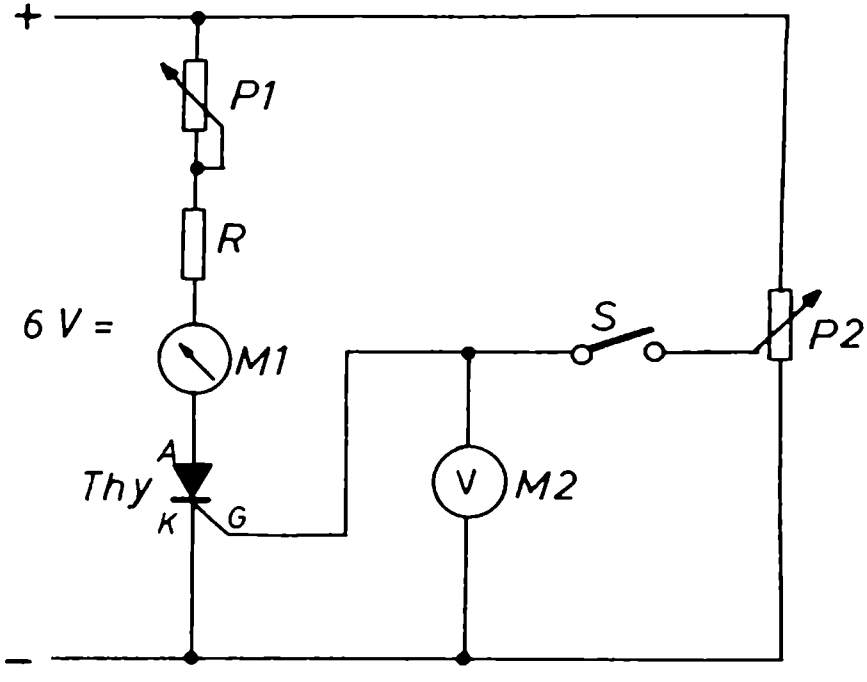
Mit den beiden Schaltungen kann man zwei wichtige Thyristorkennwerte ermitteln:
a) die notwendige Mindeststeuerspannung,
b) den unteren Haltestrom.
Zum Messen der Mindeststeuerspannung genügt Schaltung a). Der Thyristor wird polrichtig an ein Ohmmeter angeschlossen, d. h. Anode an Pluspol, Katode an Minuspol. An Steuerelektrode und Katode legt man eine veränderbare Spannung. Regelt man diese Spannung von Null aus hoch, so erhält man einen Spannungswert, bei dem der Thyristor in den leitenden Zustand übergeht (das Ohmmeter zeigt einen geringen Widerstandswert an). Die Spannung (sie liegt zwischen 0,8 V bis 2,5 V) ist die untere Steuerspannung; also die Mindestspannung an der Steuerelektrode, bei der der Thyristor geschaltet wird.



a



b



c

Ein weiterer kennzeichnender Wert ist der untere Haltestrom eines Thyristors. Das ist der Mindeststrom, bei dem der Thyristor noch im leitenden Zustand bleibt, obwohl an der Steuerelektrode keine Spannung liegt. Die Messung erfolgt nach Schaltung b).

Der Thyristor wird an eine Gleichspannung von 6 V angeschlossen. Das Potentiometer P ist zurückgedreht, so daß in der Schaltung nur der Widerstand R1 = 500 Ω wirksam ist. Durch einen kurzen Impuls mit der Taste T wird der Thyristor gezündet. Es fließt dann ein Strom von etwa 12 mA. Nun vergrößert man den Widerstand des Potentiometers. Der durchfließende Strom geht zurück bis zu einem Wert, wo der Thyristor wieder in den nichtleitenden Zustand zurückspringt. Den kurz vor Abschalten des Thyristors gemessenen Strom nennt man unteren Haltestrom. Man kann beide Prüfgeräte zu einem einzigen kombinieren (Schaltung c). Benötigt wird eine gemeinsame Speisespannung von 6 V. Die Steuerspannung erhält man von dem als Spannungsteiler geschalteten Potentiometer P2 über den Schalter S.

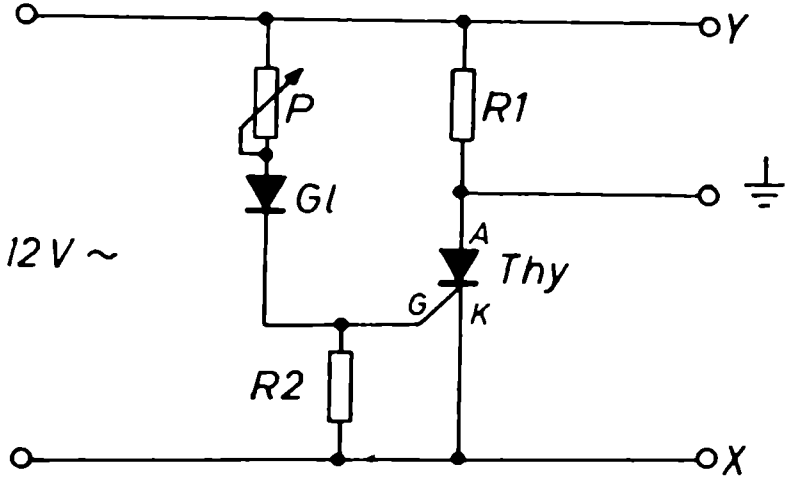
Der Prüfablauf erfolgt so: Die Potentiometer P1 und P2 sind auf Null gestellt. Der zu prüfende Thyristor wird eingesetzt. Man schließt den Schalter S und regelt Potentiometer P2 langsam hoch, bis der Thyristor zündet. Damit erhält man die Mindeststeuerspannung. Nun öffnet man Schalter S und vergrößert den Widerstand des Potentiometers P1, bis der Thyristor wieder abschaltet. Der kurz zuvor abgelesene Stromwert ist der untere Haltestrom.

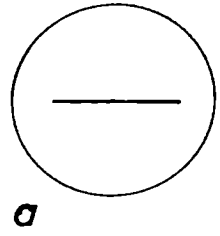
Schaltung 18

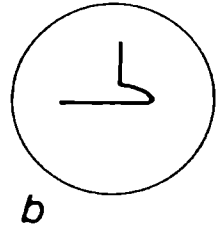
Oszillografische Darstellung der Thyristor-Steuerung

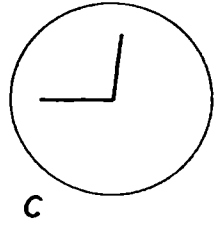
Man kann das Hilfsgerät aus Schaltung 13 gemäß nebenstehender Schaltung erweitern und erhält damit die Möglichkeit, das Verhalten eines Thyristors mit dem Oszillografen zu überprüfen.

Zu Beginn der Messung hat das Potentiometer P seinen vollen Wert. Die Steuerspannung ist noch zu klein, um den Thyristor zu schalten. Man erhält auf dem Oszillografenschirm ein Bild nach a). Verkleinert man den Widerstand von P, so wird ein immer größerer Teil der Steuerspannung ausgenutzt und es entsteht ein Bild nach b). Schließlich ist die Steuerspannung so hoch, daß der Thyristor während der positiven Halbwellen fast dauernd durchgeschalten ist. Er verhält sich dann wie eine Diode und ein Schirmbild nach c) entsteht.




a


b


c

Zusätzliche Einzelteile:

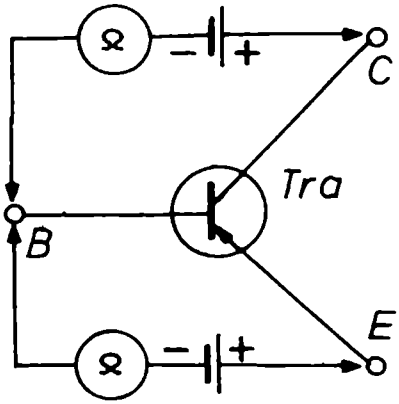
P = Potentiometer 10 kΩ
R 2 = Widerstand 1 kΩ
Gl = Kleingleichrichter (BYY 34 o. ä.)

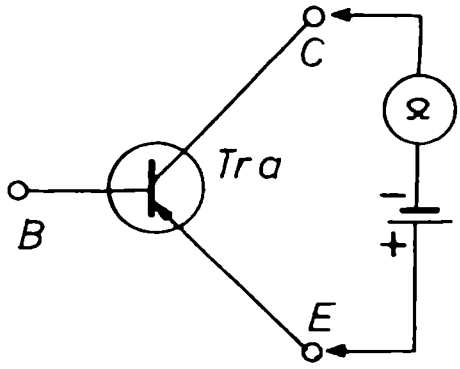
Schaltung 19

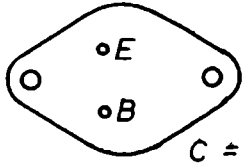
Identifizieren von Transistor-Anschlüssen

Obwohl die Bauformen verschiedener Transistoren und damit die Anschlüsse festgelegt sind (siehe Darstellungen), hat man oft die Aufgabe, die Anschlüsse für Kollektor, Basis und Emitter zu identifizieren. Das gilt besonders dann, wenn ein Bezugsfarbpunkt fehlt. Das Erkennen der Anschlüsse kann sehr leicht mit einem Ohmmeter durchgeführt werden.

Man legt den Minuspol eines Ohmmeters an irgendeinen Transistor-Anschluß und berührt mit dem Pluspol die anderen Anschlüsse. Ergibt sich dabei in beiden Fällen ein geringer Widerstand (ca. 100 Ω), so ist der Minuspol des Ohmmeters an die Basis des Transistors angeschlossen. Mißt man die übriggebliebenen Transistoranschlüsse mit jeweils vertauschter Polarität des Ohmmeters, so erhält man zwei Widerstandswerte. Ein geringer Widerstand (ca. 1 kΩ bis 25 kΩ) ergibt sich, wenn das Ohmmeter mit einem Minuspol am Kollektor des Transistors angeschlossen ist. Vorstehende Meßergebnisse gelten nur für PNP-Transistoren. Bei NPN-Transistoren gilt: Minuspol an irgendeinen Anschluß. Antasten der anderen Anschlüsse mit dem Pluspol. Bei hohem Widerstand in beiden Fällen liegt der Minuspol des Ohmmeters an der Basis. Bei niederem Widerstand in beiden Fällen liegt der Minuspol am Emitter.

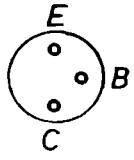






C ≙ Gehäuse

E B C

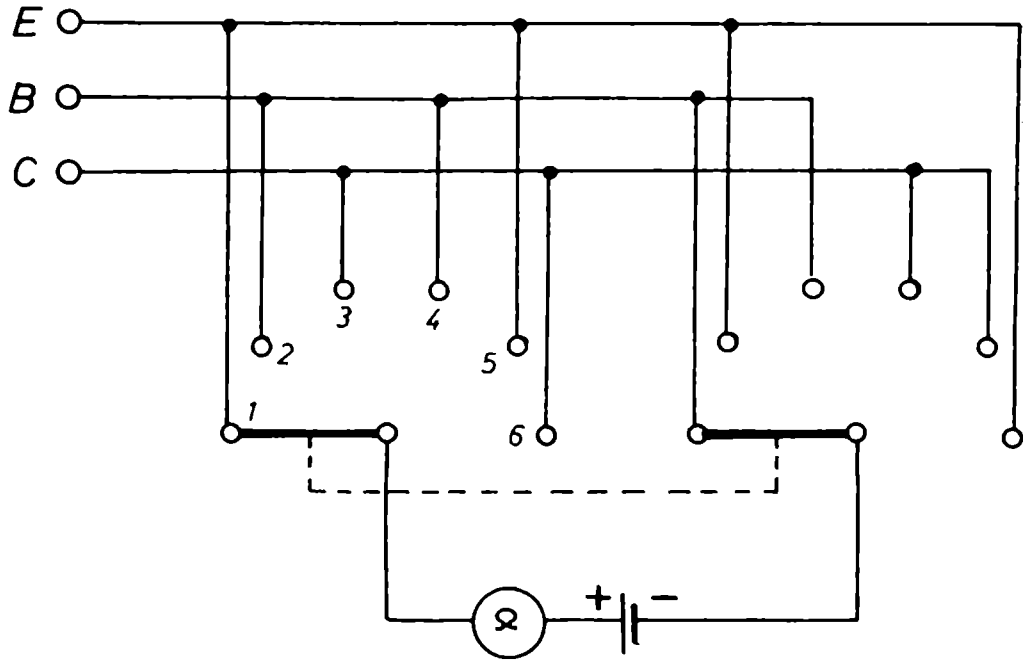


Schaltung 20

Erweiterte Prüfung mit Ohmmeter

Ergänzt man Schaltung 19 um zwei gekuppelte 6polige Schalter, so kann man die einzelnen Messungen schneller durchführen und gleichzeitig Aussage über die Brauchbarkeit eines Transistors erhalten.
Über den Schalter werden die drei Transistoranschlüsse jeweils unterschiedlich gepolt an das Ohmmeter gelegt. In den ersten vier Stufen erscheint nun abwechselnd ein niedriger und ein hoher Widerstand; bei Stufe 5 ein mittlerer und bei Stufe 6 ein hoher Widerstandswert. Bei NPN-Transistoren ist die Reihenfolge umgekehrt.

Schalter-stufe	Messung zwischen den Anschlüssen		Widerstand
	+Pol	—Pol	
1	E	B	klein (20—100 Ω)
2	B	E	groß (100 kΩ)
3	K	B	klein (20—100 Ω)
4	B	K	groß (100 kΩ)
5	E	K	mittel (1—30 kΩ)
6	K	E	groß (100 kΩ)


E
B
C
1
2
3
4
5
6
Ω
+
−

Schaltung 21

Aufnahme von Transistor-Kennlinien

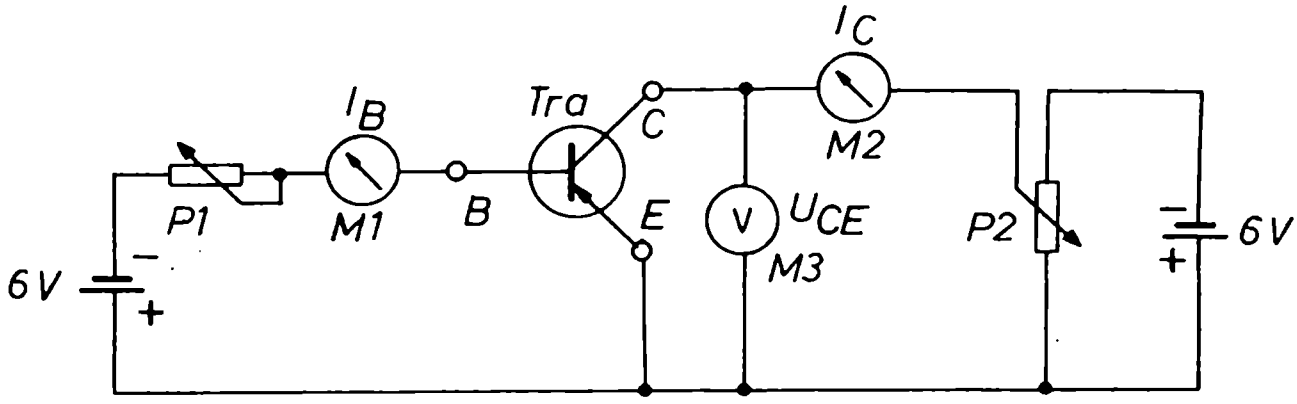
Aussagekräftiger für die Güte eines Transistors ist die I_C/U_{CE}-Kennlinie. Diese Ausgangskennlinie zeigt, wie der Kollektorstrom bei einem konstanten Basisstrom von der Kollektorspannung abhängt. Genau gesagt: der Kollektorstrom I_C ist eine Funktion der Kollektor-Emitterspannung U_{CE} mit dem Basisstrom I_B als Parameter.
Ebenso läßt sich eine Kennlinie erstellen, bei der die Kollektorspannung konstant bleibt, jedoch der Kollektorstrom in Abhängigkeit vom Basisstrom dargestellt wird. Aus dieser Kennlinie läßt sich der Gleichstromverstärkungsfaktor ermitteln.

In der Meßschaltung (Bild a) wird die Kollektorspannung U_{CE} mit dem Potentiometer P2 und der Basisstrom mit dem Potentiometer P1 eingestellt.
Zur Ermittlung der Ausgangskennlinie stellt man einen festen Basisstrom ein. Dann wird die Kollektorspannung von Null ausgehend bis 6 V hochgeregelt. Zu jeder Kollektorspannung gehört ein entsprechender Kollektorstrom. Man wird dabei feststellen, daß sich der Kollektorstrom nur sehr wenig mit der Kollektorspannung ändert. Nur im Bereich von $U_{CE} = 0{,}3$ V bis 1 V liegt der Steilanstieg des Kollektorstromes. Führt man diese Messung bei mehreren Basisströmen durch, so erhält man eine Kennlinienschar (Bild b).
Den Stromverstärkungsfaktor β erhält man aus zwei Messungen. Bei konstanter Kollektorspannung werden zwei Basisströme I_{B1} und I_{B2} und die entsprechenden Kollektorströme I_{C1} und I_{C2} gemessen. Als Stromverstärkungsfaktor gilt dann das Verhältnis

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{I_{C2} - I_{C1}}{I_{B2} - I_{B1}}$$

Als Beispiel dient eine Kennlinie (Bild c), bei der der Kollektorstrom in Abhängigkeit vom Basisstrom aufgetragen wurde. Die Kollektorspannung betrug 4 V.
Es ist $I_{B1} = 30\mu A$, $I_{B2} = 50\ \mu A$, $I_{C1} = 2{,}4$ mA und $I_{C2} = 3{,}9$ mA. Dann ist der Stromverstärkungsfaktor

$$\beta = \frac{3{,}9\ \text{mA} - 2{,}4\ \text{mA}}{50\ \mu\text{A} - 30\ \mu\text{A}} = \frac{1500\ \mu\text{A}}{20\ \mu\text{A}} = 75$$



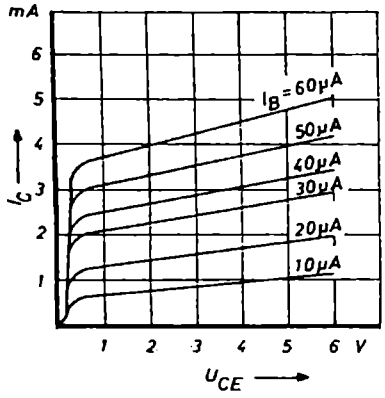
18a

Vereinfacht kann man den Verstärkungsfaktor bestimmen, indem man nur das Verhältnis eines Kollektorstromes und des dazugehörigen Basisstromes bildet. Dieser Wert liegt im allgemeinen höher, was jedoch für eine vergleichende Transistorprüfung unwesentlich ist.
Als Beispiel wird wieder die gleiche Kennlinie (Bild c) benutzt. Zu einem Basisstrom von $I_B = 40\ \mu A$ gehört ein Kollektorstrom von $I_C = 3{,}2$ mA, dann ist

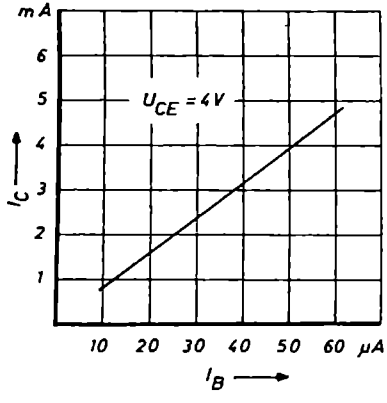
$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{3200\ \mu A}{40\ \mu A} = 80$$

Einzelteilliste:

M 1 = Mikroamperemeter 100 µA
M 2 = Milliamperemeter 10 mA
M 3 = Voltmeter 10 V
P 1 = Potentiometer 500 kΩ
P 2 = Potentiometer 200 Ω



18b



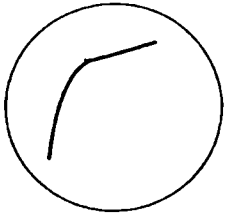
18c

Schaltung 22

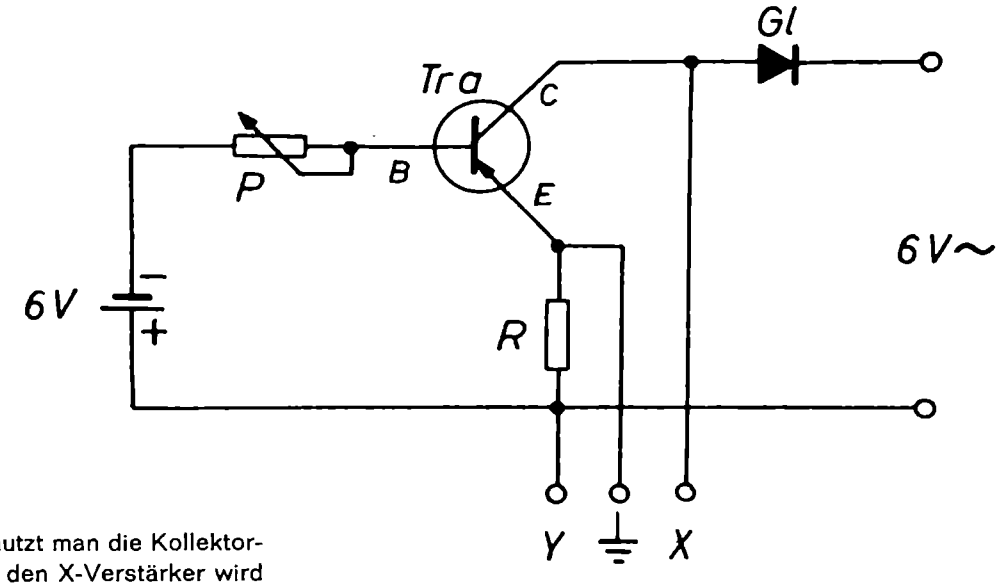
Oszillografische Prüfung von Transistoren

Ein Transistor kann als die Zusammenschaltung von zwei Dioden mit gemeinsamer Katode betrachtet werden. Man kann nun jede einzelne Diodenstrecke für sich prüfen und daraus Rückschlüsse ziehen.

Zur oszillografischen Prüfung kann das Hilfsgerät nach Schaltung 13 benutzt werden. Die Basis des Transistors kommt (wie die Katode der Diode) an den einen Anschluß der Speisespannung. Kollektor oder Emitter werden an den Widerstand angeschlossen. Die erhaltenen Schirmbilder werden wie unter Schaltung 10 beschrieben ausgewertet.



Schirmbild



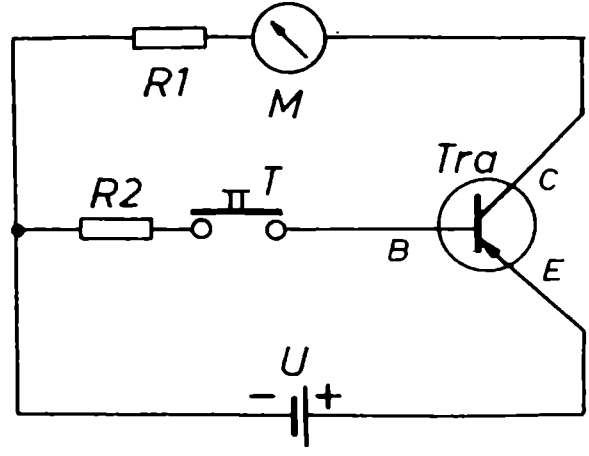
Zur Darstellung der Kennlinien benutzt man die Kollektorschaltung eines Transistors. Durch den X-Verstärker wird die Kollektor-Emitterspannung angezeigt und der Spannungsabfall am Emitterwiderstand (entsprechend Emitterstrom) durch den Y-Verstärker. Bei offener Basis fließt nur der geringe Kollektor-Emitter-Reststrom, der aber nicht angezeigt wird. Legt man über das Potentiometer P eine Spannung an die Basis, so fließt ein Basisstrom, der einen entsprechend vergrößerten Emitterstrom hervorruft. Durch Ändern des Basisstromes kann nun entsprechend der Emitterstrom geändert werden, so daß man verschiedene I_E/U_{CE}-Kennlinien in Abhängigkeit von I_B darstellen kann.

Einzelteilliste:

P = Potentiometer 500 kΩ
R = Emitterwiderstand 200 Ω
Gl = Kleingleichrichter (BYY 34 o. ä.)

Schaltung 23

Transistor-Testprinzip



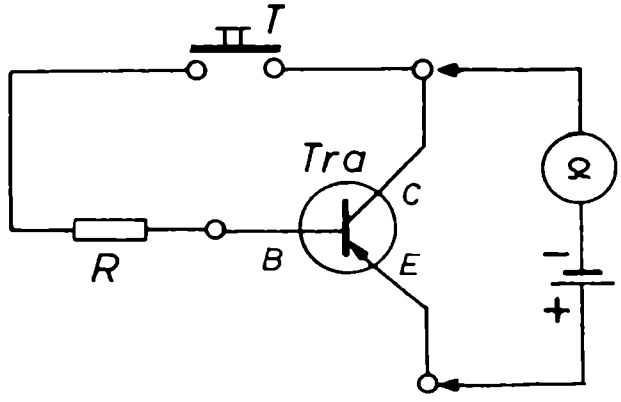
Bei der Kennlinienaufnahme von Transistoren wurde schon gezeigt, daß ein kleiner Basisstrom einen hohen Kollektorstrom ergibt. Auf dieser Eigenschaft eines Transistors beruhen die meisten im Handel befindlichen „Transistortester".

Die Schaltung zeigt das Testprinzip. Solange die Taste T offen ist, ist auch die Basis des Transistors nicht angeschlossen. Es fließt dann nur der geringe Kollektor-Emitter-Reststrom, der bei einem guten Transistor einen Wert von 10—50 µA hat. Großer Reststrom deutet unter Umständen auf einen Schluß zwischen Kollektor und Emitter hin. Der Widerstand R1 dient dann als Strombegrenzer zum Schutz des Meßwerkes.

Drückt man nun die Taste T, so fließt über den Widerstand R2 ein kleiner Basisstrom, der eine Vergrößerung des Kollektorstromes auslöst. Bei einigen Transistor-Testern wird gleichzeitig dem Meßinstrument ein Widerstand parallel geschalten, der damit den Meßbereich dem Kollektorstrom anpaßt. Der Basisstrom, der angenähert durch die Beziehung $I_B = \frac{U}{R2}$ gegeben ist, bleibt für alle Transistortypen nahezu konstant. Die Schaltung ist daher gut für Vergleiche geeignet, da das Verhältnis Kollektorstrom-Basisstrom der Stromverstärkung des Transistors entspricht.

Schaltung 24

Transistortest mit dem Ohmmeter



Diese Ohmmeterprüfung ahmt das Testprinzip nach Schaltung 23 nach. Gemessen wird zuerst der Widerstandswert zwischen Kollektor und Emitter (entsprechend Kollektor-Emitter-Reststrom bei offener Basis). Über den Widerstand R = 2 kΩ verbindet man nun die Basis mit dem Kollektor. Der Widerstand zwischen Kollektor und Emitter beträgt dann nur etwa 50—100 Ω (Ansteigen des Kollektorstromes entspricht hier einem sinkenden Widerstand).

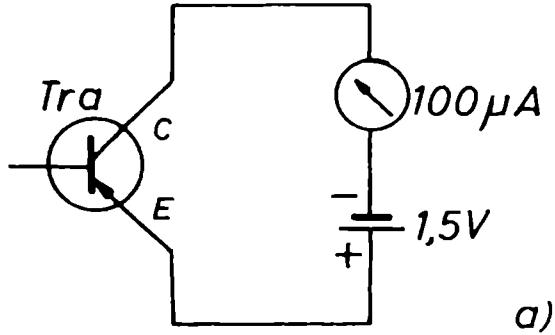
Schaltung 25

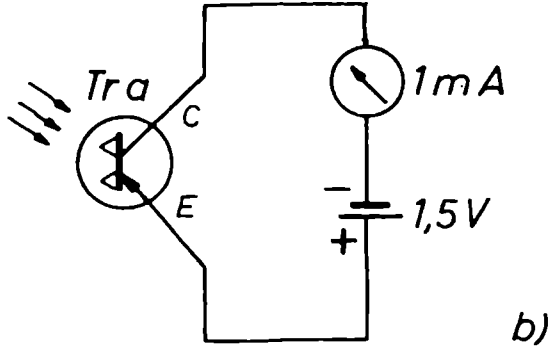
Temperatur- und Lichtempfindlichkeit eines Transistors

Bei allen Reststrommessungen an Transistoren wird man feststellen, daß der Reststrom scheinbar nicht konstant ist. Zum Beispiel klemmt man den Transistor an eine Meßschaltung an und mißt einen bestimmten Reststrom. Einige Zeit später ist der Reststrom unter Umständen auf die Hälfte des zuerst gemessenen Wertes gesunken. Ursache: Beim Anklemmen hat man den Transistor zwischen den Fingern gehalten und dadurch etwas erwärmt.

Mit der Schaltung a) kann man diesen Effekt demonstrieren. Bei einer Spannung von 1,5 V wurde beispielsweise ein Reststrom von 30 µA gemessen. Hielt man den Transistor kurze Zeit zwischen den Fingern, so stieg der Strom auf 70 µA an und sank dann langsam wieder ab.

Ebenso läßt sich mit dieser Schaltung die Lichtempfindlichkeit eines Transistors nachweisen. Man legt einen, von seiner schwarzen Lackschicht befreiten, Transistor (Type OC 71) unter eine starke Lichtquelle und stellt einen Reststrom von ca. 50 µA ein. Schaltet man nun das Licht aus, sinkt der Strom sofort auf einen kaum meßbaren Wert. Besonders stark ist die Lichtabhängigkeit bei Fototransistoren (z. B. Type OCP 70) ausgeprägt, wo man Schwankungen von etwa 200 µA erhält.





Unijunction-Transistor, UJT

Der Unijunction-Transistor (in der deutschen Literatur auch als Doppelbasisdiode bezeichnet) ist kein Transistor im Sinne des Wortes. Seinem Verhalten nach und auch entsprechend seiner Anwendung ist er mehr ein Schwellwertschalter.

Anhand des Schaltbildes soll die Funktion eines Unijunction-Transistors näher erläutert werden.

(Vorbemerkung: .Das Schaltzeichen des UJT darf nicht mit dem des Feldeffekttransistors verwechselt werden. Es unterscheidet sich durch den schrägen Emitterpfeil, der stets auf die Basis B1 weist.)

Die beiden Basen B1 und B2 sind an eine Gleichspannung U_{BB} angeschlossen. Es fließt nur ein geringer Strom, der durch den Zwischenbasiswiderstand R_{BB} bestimmt ist. Nun legt man zwischen Emitter und Basis 1 eine Gleichspannung an und steigert diese langsam. Es fließt zuerst ein geringer Strom, der beim Erreichen eines bestimmten Spannungswertes schlagartig ansteigt und im wesentlichen durch den vorgeschalteten Widerstand R begrenzt wird. Gleichzeitig sinkt aber auch die Spannung zwischen Emitter und Basis 1 ab.

Dieses Verhalten ist durch den Aufbau des Unijunction-Transistors begründet. Die beiden Basen B1 und B2 sind die sperrschichtfreien Anschlüsse eines n-dotierten Siliziumplättchens. Zwischen dem Emitter und dem Stäbchen befindet sich eine pn-Sperrschicht. Der Widerstand zwischen Emitter und Basis 1 ist verhältnismäßig konstant. Erst nach Überschreiten einer bestimmten Emitter-Basis-1-

Spannung werden Ladungsträger in das Siliziumstäbchen injiziert. Die Leitfähigkeit der Emitter-Basis-1-Strecke steigt somit schlagartig an. Die Emitterspannung nimmt dann ab, während der Emitterstrom zunimmt.
In der Kennlinie sind die einzelnen Punkte aufgezeichnet. Die für einen Unijunction-Transistor kennzeichnenden Werte sind wie folgt definiert:

U_{B1} = Zwischenbasis-Spannung (interbase voltage)
Unter Zwischenbasis-Spannung versteht man die Spannung zwischen den Basen B1 und B2

R_{B1} = Zwischenbasiswiderstand (interbase resistance)
Der Zwischenbasiswiderstand ist der Widerstand zwischen den Basen B1 und B2. Er ist von der Spannung und der Temperatur abhängig.

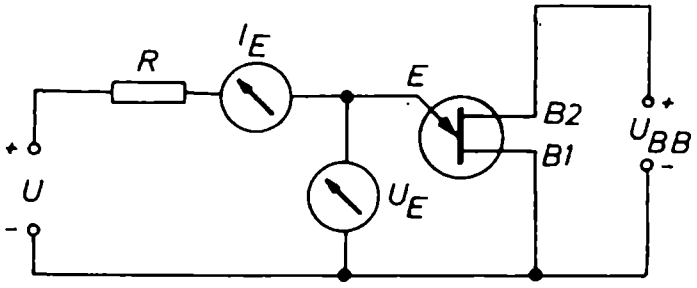
U_P = Höckerspannung (peak-point emitter voltage)
Die Emitterspannung im Maximum der Kennlinie ist die Höckerspannung. Sie ist durch folgende Gleichung bestimmt:
$U_P = \eta U_{BB} + U_D$
wobei η das innere Spannungsverhältnis (siehe dort) und U_D die Durchlaßspannung der Emitterdiode (etwa 0,7 V) ist.

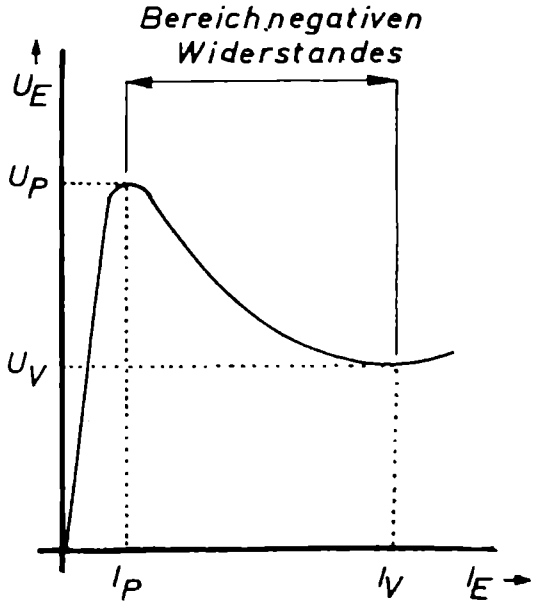
I_P = Höckerstrom (peak-point current)
Der Höckerstrom ist der Emitterstrom beim Erreichen der Höckerspannung

U_V = Talspannung (valley voltage)
Die Talspannung ist der Kleinstwert der Emitterspannung

I_V = Talstrom (valley current)
Der Talstrom ist der Wert des Emitterstroms beim Punkt der Talspannung

η = Inneres Spannungsverhältnis (intrinsic stand-off ratio)
Das innere Spannungsverhältnis ist praktisch das Verhältnis zwischen Höckerspannung und Zwischenbasis-Spannung. η ist temperaturunabhängig und wird von der Zwischenbasis-Spannung nicht beeinflußt. Der Wert von η liegt bei etwa 0,7 (Grenzwerte je nach Aufbau des UJT sind 0,2 . . . 0,9).


R
I_E
E
B2
B1
U_{BB}
+
-
U
+
-
U_E


Bereich negativen
Widerstandes
U_E
U_P
U_V
I_P
I_V
I_E

Schaltung 26

Kennwerte eines Unijunction-Transistors

Nachstehend werden einige Meßschaltungen zur Ermittlung der Kennwerte eines UJT angegeben. Die Schaltungen wurden der 7. Ausgabe des „Transistor Manual" von General Electric entnommen.

Schaltung a): Zwischenbasiswiderstand R_{BB}
Der Zwischenbasiswiderstand wird zwischen den Basen B1 und B2 bei offenem Emitter gemessen. Es kann dazu jedes Widerstandsmeßgerät benutzt werden. Die Meßspannung soll kleiner als 5 V sein. Der Zwischenbasiswiderstand hat einen positiven Temperaturkoeffizienten von 0,8 %/° C.

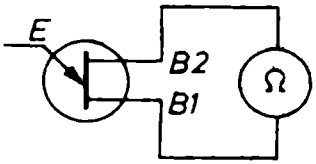
Schaltung b): Höckerstrom I_P
Der Höckerstrom ist der Strom, der bei der Höckerspannung fließt. In der Meßschaltung wird zur Ermittlung des Höckerstromes das Potentiometer P langsam vom Fußpunkt zum Plusanschluß verstellt, bis der Unijunction-Transistor zündet. Das Zünden ist erkennbar durch plötzlichen Stromanstieg und niederfrequentes Schwingen der Schaltung. Der kurz vor dem Zünden gemessene Stromwert ist der Höckerstrom. Er liegt in der Größenordnung von 1 bis 5 μA.

Einzelteilliste Schaltung b:

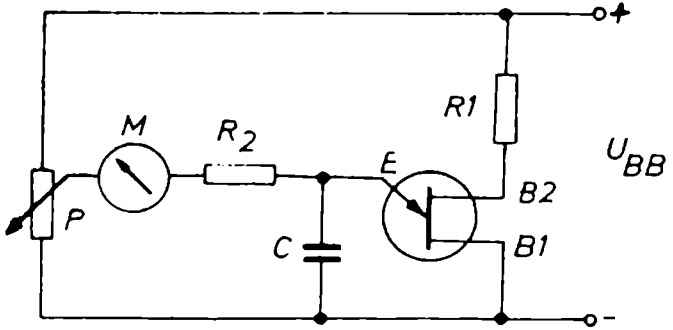
R 1	=	Widerstand 220 Ω/½ W
R 2	=	Widerstand 100 kΩ/½ W
P	=	Potentiometer 100 kΩ/½ W
C	=	Kondensator 0,2 µF/60 V
M	=	Drehspulinstrument 20 µA Vollausschlag
U_{BB}	=	Speisespannung 10 V

Einzelteilliste Schaltung c:

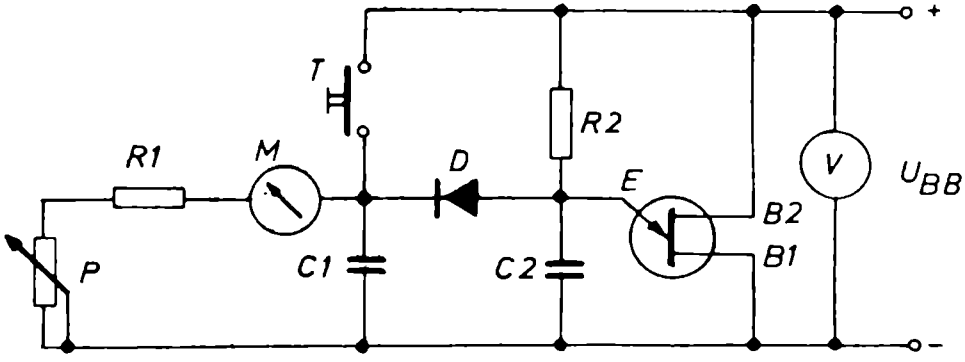
R 1	=	Widerstand 75 kΩ/½ W
R 2	=	Widerstand 10 kΩ/½ W
P	=	Potentiometer 50 kΩ/½ W
C 1	=	Kondensator 1 µF/60 V
C 2	=	Kondensator 0,1 µF/60 V
M	=	Drehspulinstrument 100 µA Vollausschlag, Innenwiderstand 1000 Ω
D	=	Siliziumdiode, deren Durchlaßspannung U_D = 0,67 V bei einem Durchlaßstrom I_D = 0,5 mA beträgt



a)



b)



c)

Schaltung c): Inneres Spannungsverhältnis η

Der Unijunciton-Transistor bildet zusammen mit R2 und C2 einen Sägezahngenerator. An den Emitter angeschlossen ist ein Spitzenspannungsmesser, bestehend aus dem Meßinstrument M mit den Vorwiderständen R1 und P, dem Kondensator C1 und der Diode D. Die Messung des inneren Spannungsverhältnisses erfolgt sehr einfach. Man drückt die Taste T und stellt mit Hilfe des Potentiometers P das Meßinstrument auf Vollausschlag ein. Nach Loslassen der Taste ist bei einer 0-1-Skala des Meßinstrumentes der Wert von η sofort ablesbar. Gemessen wird in Wirklichkeit die Höckerspannung U_P. Durch die Wirkung der Diode D wird automatisch die Durchlaßspannung U_D der Emitter-Basis-1-Strecke eliminiert. Es gilt also nur noch der Zusammenhang (vgl. auch die Erklärung der Kennwertel):

$U_P = \eta U_{BB}$

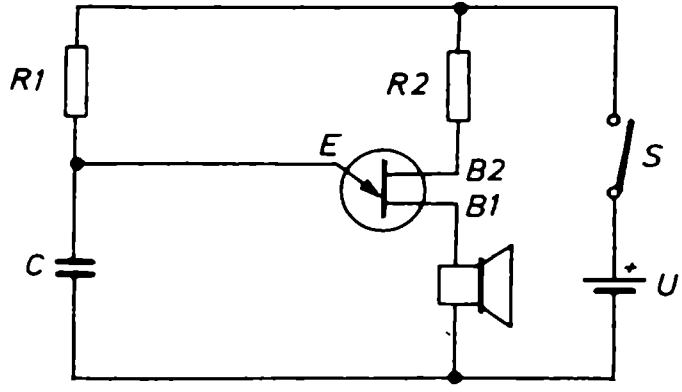
Da U_{BB} in das Meßinstrument einkalibriert wurde, also 100% entspricht, gilt nun

$$\eta = \frac{\text{Meßwert (entspricht } U_P)}{100 \text{ (entspricht } U_{BB})}$$

Bei einer Änderung der Spannung U_{BB} muß also das Meßinstrument jedesmal neu auf Vollausschlag eingestellt werden. Die Speisespannungsquelle für U_{BB} muß einen Strombegrenzungswiderstand enthalten (etwa 1 kΩ).

Schaltung 27

Testschaltung für Unijunction-Transistoren



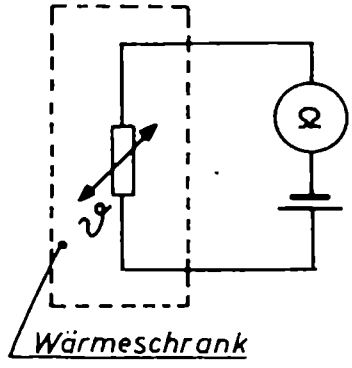
Als einfache Testschaltung für UJT ist dieser Sägezahngenerator brauchbar. Im Prinzip handelt es sich um die Grundschaltung eines mit einem UJT bestückten Impulsgenerators. An der Basis B 1 können positive, an der Basis B 2 negative Nadelimpulse und am Emitter eine sägezahnartige Kippschwingung abgenommen werden. Gegenüber der Grundschaltung ist jedoch anstelle des Basis-1-Widerstandes ein Lautsprecher mit 8 Ω Impedanz eingefügt.
Mit den angegebenen Werten wird bei einem inneren Spannungsverhältnis von $\eta = 0{,}75$ eine Frequenz von ungefähr 250 Hz erzeugt. Kleineres η ergibt eine höhere Frequenz und umgekehrt.

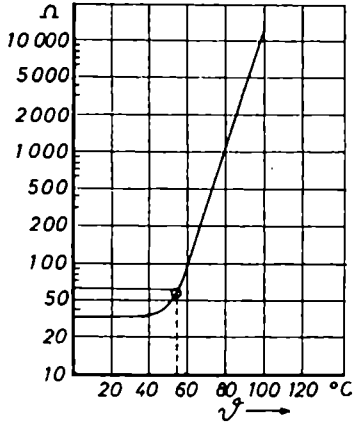
Einzelteilliste:
R 1 = Widerstand 30 kΩ/½ W
R 2 = Widerstand 560 Ω/½ W
C = Kondensator 0,1 µF/60 V
U = 9-V-Batterie
Lautsprecher 4 bis 16 Ω Impedanz verwendbar

Schaltung 28

Temperaturverhalten von Kaltleitern

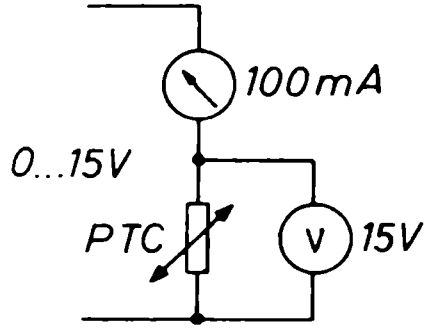
Der Widerstand von Kaltleitern nimmt mit steigender Temperatur zu; sie haben einen positiven Temperaturkoeffizienten. Metalle gehören zu den Kaltleitern. So erhöht Kupfer seinen Widerstand bei einem Temperaturunterschied von 100 Grad auf den 1,4fachen Anfangswert.
PTC-Widerstände sind Kaltleiter auf Halbleiterbasis. Der Kaltleitereffekt ist bei diesen Widerständen wesentlich stärker ausgeprägt. Bei einem Temperaturunterschied von ca. 80 Grad kann der Widerstand auf das 400fache seines Anfangswertes ansteigen.
Verfügt man über einen Wärmeschrank, so kann man die Temperaturabhängigkeit eines PTC-Widerstandes bestimmen. Die Widerstandsmessung am PTC-Widerstand muß mit kleinem Meßstrom und möglichst schnell erfolgen, um Eigenerwärmung durch den Meßstrom zu vermeiden.
Man erhält dann eine Kurve nach b). Sie ist im halblogarithmischen Kennlinienfeld aufgetragen, da die Widerstandsänderung über drei Zehnerdekaden reicht.
Als kennzeichnenden Wert kann man die sogenannte Umschlagtemperatur bestimmen. Das ist die Temperatur, bei der der PTC-Widerstand das Doppelte des Wertes bei 20 ° C hat. Im aufgezeichneten Fall beträgt der Widerstand bei 20 ° C 30 Ω, die Umschlagtemperatur für R = 60 Ω liegt dann bei etwa 55 ° C.



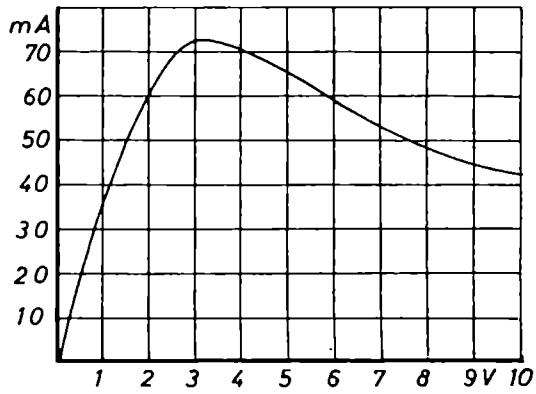


Schaltung 29

Strom-Spannungsverhalten von PTC-Widerständen

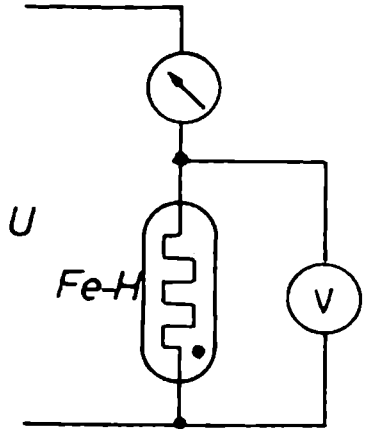


Legt man gemäß nebenstehender Schaltung eine Spannung an einen PTC-Widerstand und steigert diese langsam, so kann man folgendes Verhalten des Stromes beobachten:
Zuerst steigt der Strom nahezu verhältnisgleich der Spannung an. Dann kommt ein Bereich, in dem der Strom nur noch gering ansteigt, bis er schließlich einen Höchstwert erreicht. Nun beginnt der Strom mit steigender Spannung zu sinken, zuerst sehr stark, dann jedoch geringer.
Dieses scheinbar widersinnige Verhalten wird durch die mit Strom und Spannung verbundene Leistung und die daher umgesetzte Wärme bestimmt.
In der Praxis wird dieses Verhalten für Konstantstromschaltungen ausgenutzt. Jedoch ist ein PTC-Widerstand ziemlich träge, so daß er für rasche Strom- bzw. Spannungsänderung wenig in Frage kommt.



Schaltung 30

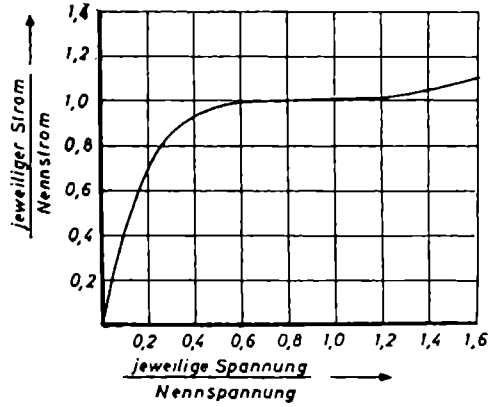
Eisen-Wasserstoff-Widerstand



Zu den Kaltleitern gehören auch die Eisen-Wasserstoff-Widerstände, die für die Konstanthaltung der Heizströme von Röhren in Allstromempfängern verwendet wurden. Diese Widerstände bestehen aus einem Eisendraht in einem mit Wasserstoffgas (zur besseren Wärmeabgabe) gefüllten Glaskolben.

Die Messung erfolgt genauso wie bei einem PTC-Widerstand. Allerdings ist das Strom-Spannungs-Verhalten wesentlich anders. Während bei einem PTC-Widerstand der Strom nach Überschreiten eines Höchstwertes wieder absinkt, bleibt der Strom durch einen Eisen-Wasserstoff-Widerstand nach einem Steilanstieg innerhalb eines Spannungsbereiches konstant und steigt dann wieder an.

Zur übersichtlicheren Darstellung bezieht man Strom I und Spannung U auf die Nennwerte I_n bzw. U_n und zeichnet die Kennlinie entsprechend auf. Daraus läßt sich der Regelbereich entnehmen. Im Beispiel ist der Strom zwischen dem 0,6fachen und dem 1,2fachen der Nennspannung nahezu konstant.



Schaltung 31

Temperaturverhalten von Heißleitern

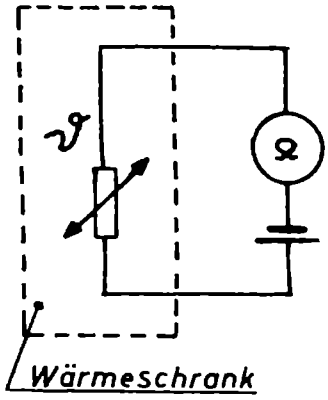
Im Gegensatz zu Kaltleitern haben die Heißleiter (Handelsnamen: NTC-Widerstände, Thermistoren, Thernewide u. a.) einen negativen Temperaturkoeffizienten, d. h. der Widerstand sinkt mit steigender Temperatur.
Nimmt man den Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur auf, so wird man feststellen, daß die Widerstandsabnahme im Bereich zwischen 20 ° C und 60 ° C sehr groß ist. Diese Widerstandsänderung erfolgt grundsätzlich nach der Formel

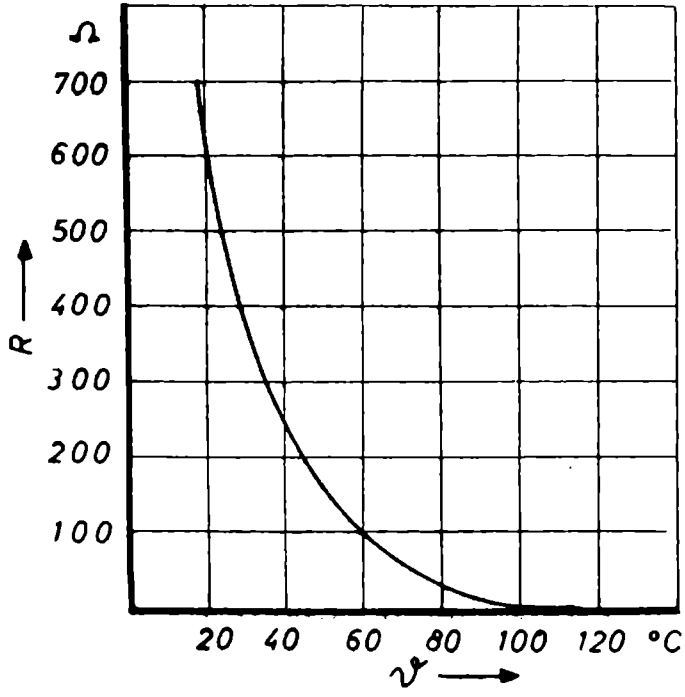
$$R_T = \frac{R_{25}}{e^{\left(\frac{B}{298} - \frac{B}{T}\right)}}$$

Darin bedeuten:
R = Widerstand bei der Temperatur T
R_{25} = Widerstandswert bei 25 ° C
B = Regelkonstante in ° K
T = Temperatur in ° K (= ° C + 273)
In den Datenlisten werden immer der Kaltwert des Heißleiters und die Regelkonstante B angegeben, so daß man mit diesen Angaben und der obigen Formel die Widerstandskurve ausrechnen kann.
Hat man jedoch von einem unbekannten Heißleiter den Widerstandsverlauf in Abhängigkeit von der Temperatur ermittelt, so kann man aus zwei Meßpunkten den B-Wert errechnen, und zwar nach der Formel

$$B = 2{,}303 \cdot \frac{\lg R_1 - \lg R_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}$$

R_1 = Widerstandswert bei Temperatur T_1
R_2 = Widerstandswert bei Temperatur T_2
T_1, T_2 = Temperaturen in ° K (= ° C + 273)



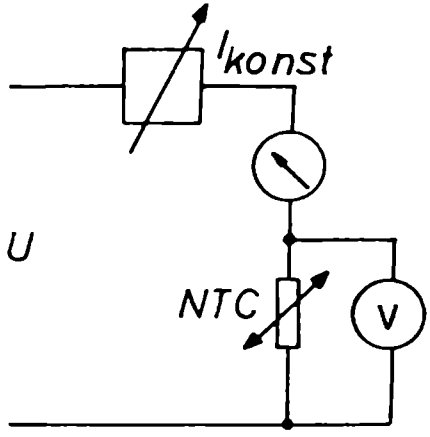


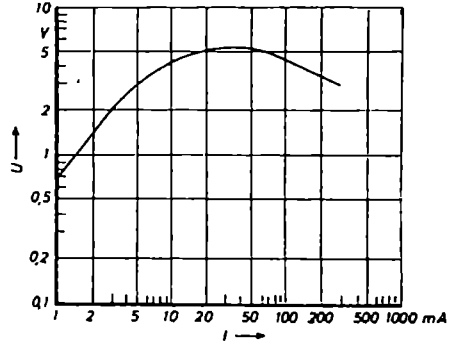
zu Seite 63: Temperaturverhalten von Heißleitern

Schaltung 32

Strom-Spannungsverhalten von Heißleitern

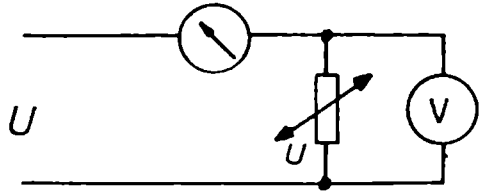
Mißt man den durch den Heißleiter fließenden Strom in Abhängigkeit von der Spannung, so wird man bald feststellen, daß ab einem bestimmten Bereich eine geringe Spannungsänderung eine sehr hohe Stromänderung hervorruft. Die Messung wird dadurch sehr erschwert.
In den Datenblättern findet man daher als Kennlinie stets eine Darstellung, bei der die am Heißleiter anliegende Spannung in Abhängigkeit vom Strom aufgetragen ist.
Mit dem Konstantstrom-Zweipol nach Schaltung 2 läßt sich die Kennlinienaufnahme leicht durchführen. Man stellt einen bestimmten Stromwert ein und liest nach einiger Zeit die am Heißleiter anliegende Spannung ab.
Aus den gemessenen Einzelwerten erhält man einen Kennlinienverlauf, der hier im doppel-logarithmischen Maßstab dargestellt wurde.





Schaltung 33

Spannungsabhängige Widerstände



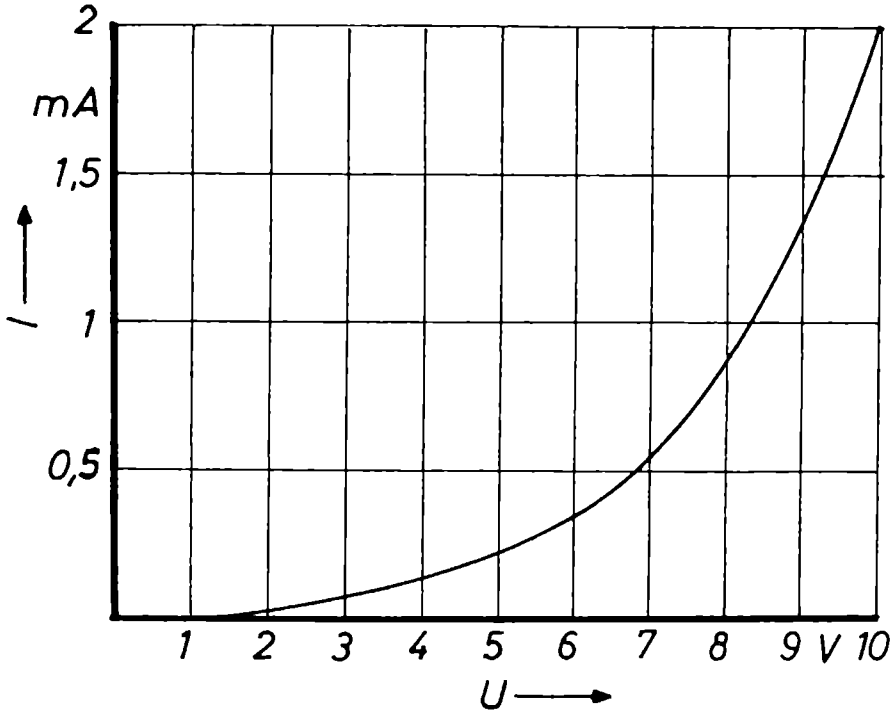
VDR-Widerstände (auch Varistoren genannt) sind Bauelemente, deren Widerstand mit steigender Spannung abnimmt. Die Polarität der Spannung spielt dabei keine Rolle.
Nimmt man die Strom-Spannungs-Kennlinie nach nebenstehender Schaltung auf, so erhält man einen Verlauf, der etwa der Gleichrichter-Kennlinie entspricht. Zeichnet man den im linearen Maßstab dargestellten Kennlinienverlauf (Bild a) auf ein doppel-logarithmisches Liniennetz um, so erhält man eine Gerade. Auf dem Doppel-Logarithmen-Papier werden aber alle Funktionen der Form

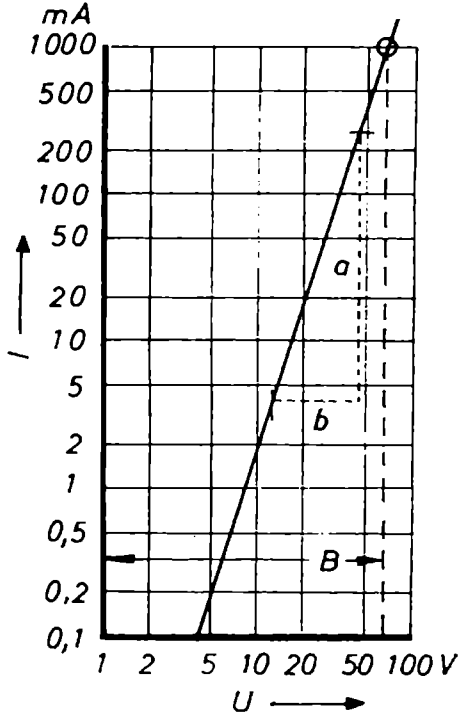
$$y = k \cdot x^a$$

als Gerade dargestellt. Das bedeutet, daß die Charakteristik eines VDR-Widerstandes nach dieser Funktion verläuft. Diese Funktion lautet

$$U = B \cdot I^{\beta}$$

Darin ist
U = Spannung (in V) am VDR-Widerstand
I = Strom (in A) durch den VDR-Widerstand
B = Konstante (entspricht der Spannung bei I = 1 A)
β = Regelfaktor
Man kann nun aus der Messung eines VDR-Widerstandes und dem aufgezeichneten Kurvenverlauf die Konstante B und den Regelfaktor β ermitteln.


2
mA
1,5
I
1
0,5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 V 10
U


mA
1000
500
200
100
50
I
20
10
5
2
1
0,5
0,2
0,1
a
b
B
1 2 5 10 20 50 100 V
U

a) zeichnerisch
Man verlängert die auf doppel-logarithmischem Papier aufgezeichnete Kennlinie bis zum Schnittpunkt mit der 1-A-Stromabszisse. Der dazugehörige Spannungswert ergibt die Konstante B.
Den Regelfaktor β erhält man, wenn man die Steigung der Geraden errechnet (Strecken a und b linear gemessen). Es ist dann

$$\beta = \frac{\text{Strecke b (in mm)}}{\text{Strecke a (in mm)}}$$

b) rechnerisch
Für die rechnerische Ermittlung benötigt man die zu zwei Spannungen U_1 und U_2 gehörigen Stromwerte I_1 und I_2.

Den β-Wert erhält man nach der Formel

$$\beta = \frac{\lg U_2 - \lg U_1}{\lg I_2 - \lg I_1}$$

Und den B-Wert nach der Formel

$$B = \frac{U_1}{I_1^{\beta}}$$

oder $$B = \frac{U_2}{I_2^{\beta}}$$

Zu beachten ist, daß zur Ermittlung der beiden Werte der Strom I in Ampere eingesetzt werden muß.

Sind nun die beiden Kennwerte bekannt, dann kann man für jede am VDR-Widerstand anliegende Spannung den durchfließenden Strom errechnen:

$$I = \left(\frac{U}{B}\right)^{\frac{1}{\beta}}$$

Fotoelektronische Bauelemente

Genaue Messungen an fotoelektronischen Bauelementen lassen sich nur auf einer sogenannten optischen Bank durchführen. So wird z. B. zur Eichung eines Fotoelementes durch eine Normallampe mit bekannter Lichtstärke J in einem Abstand r eine damit bekannte Beleuchtungsstärke $E = \frac{J}{r^2}$ erzeugt und hierbei die jeweilige Galvanometerablesung ermittelt.

Für vereinfachte Vergleichsmessungen genügt es, wenn man mit einer „angenommenen" Beleuchtungsstärke E' arbeitet. Dabei wählt man für die Lichtstärke irgend einen beliebigen Wert (z. B. J = 1000 cd), so daß die Formel für die Beleuchtungsstärke lautet:

$$E' = \frac{1000}{r^2}$$

Bei der Messung geht man so vor, daß das fotoelektronische Bauelement in einem möglichst nicht reflektierenden dunklen Raum von einer punktförmigen Lichtquelle senkrecht beleuchtet wird. Zu jeder Entfernung r, die mit einem Bandmaß gemessen wird, liest man die jeweiligen Meßergebnisse ab. Die Meßergebnisse werden dann in Abhängigkeit von der angenommenen Beleuchtungsstärke E' in einem Liniennetz aufgetragen. Die erhaltenen Kennlinien entsprechen in ihrem Verlauf dem tatsächlichen Verhalten.

Als Anhaltspunkt für die von punktförmigen Lichtquellen erzeugten Beleuchtungsstärken können folgende Werte dienen:

Mittagssonne im Juli	150 000 lx
Klarglas-Glühlampe 100 W in 1 m Abstand	75 lx

Schaltung 34

Eigenschaften von Fotoelementen

Fotoelemente erzeugen ohne besondere Hilfsspannung bei Lichteinwirkung eine Gleichspannung. Während Selen-Fotoelemente bereits seit 1876 bekannt sind, wurden die Silizium-Fotoelemente erst in den letzten 15 Jahren entwickelt. Silizium-Fotoelemente besitzen einen wesentlich besseren Wirkungsgrad als Selen-Zellen; der Fotostrom ist beispielsweise zehnmal größer.

a) Leerlaufspannung

Die Leerlaufspannung eines Fotoelements wird so gemessen, daß die Zelle nicht belastet wird. Hierzu benutzt man die Spannungsmessung nach der Kompensationsmethode. Mit einem Potentiometer wird von einer stabilisierten Gleichspannung eine Teilspannung abgegriffen und über ein Nullinstrument dem Fotoelement zugeführt. Solange ein Unterschied zwischen der Fotospannung und der abgegriffenen Spannung besteht, fließt über das Meßinstrument ein Ausgleichstrom. Bei Spannungsgleichheit steht der Zeiger des Instruments auf Null. Die am Potentiometer abgegriffene Spannung U_x kann man bei bekannter Eingangsspannung U (hier 1,5 V) und bekanntem Widerstandswert des Potentiometers wie folgt ermitteln:

$$U_x = U \cdot \frac{\text{abgegriffener Teilwiderstand } R_x}{\text{Gesamtwiderstand } R}$$

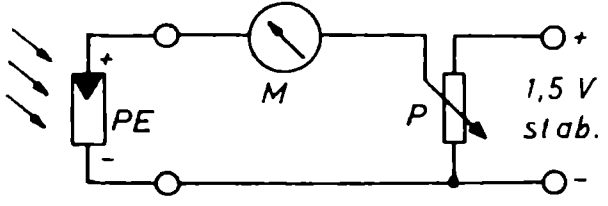
Der Teilwiderstand R_x ist der Widerstand zwischen Schleifer und Fußpunkt des Potentiometers und muß natürlich bekannt sein (Eichung des Potentiometers nach Widerstandswerten).

Nimmt man nun die Leerlaufspannung in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke auf, so wird man feststellen, daß die Leerlaufspannung ab einer bestimmten Beleuchtungsstärke nur noch wenig ansteigt. Sie erreicht einen Sättigungswert, der bei Siliziumzellen etwas höher als bei Selenzellen liegt.

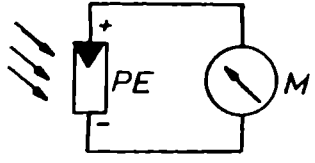
b) Kurzschlußstrom

Zur Messung des Kurzschlußstromes benötigt man ein Instrument mit einem möglichst niederen Innenwiderstand. Der Kurzschlußstrom nimmt linear mit der Beleuchtungsstärke zu. Nur bei sehr hohen Beleuchtungsstärken flacht die Kurve etwas ab. Auch bei hohem Innenwiderstand des Meßinstrumentes (ab etwa 200 Ω) verläuft die Abhängigkeit Beleuchtungsstärke-Kurzschlußstrom nicht mehr linear

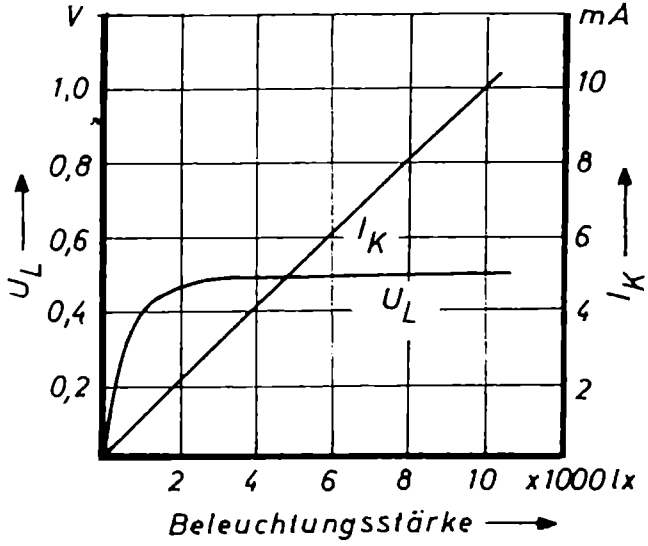
Der Kurzschlußstrom ist auch linear abhängig von der lichtempfindlichen Oberfläche des Fotoelementes. Der Nachweis läßt sich leicht durchführen. Bei konstanter Beleuchtungsstärke bedeckt man mit Schablonen (z. B. Münzen) bekannten Durchmessers das Fotoelement und liest die entsprechenden Kurzschlußströme ab. Man errechnet nun die restliche unbedeckte Oberfläche und trägt abhängig davon den Kurzschlußstrom in einem Liniennetz auf.



a)



b)



Einzelteile für Spannungsmessung nach Kompensationsmethode:

P = Potentiometer 200 Ω
M = Mikroamperemeter 50—0—50 µA

Schaltung 35

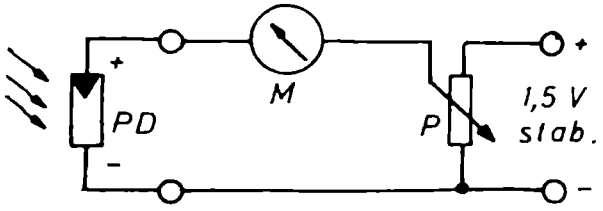
Eigenschaften von Fotodioden

An und für sich ist jede Germaniumdiode lichtempfindlich. Dieser Effekt ist jedoch unerwünscht, daher werden sie entweder lichtdicht gekapselt oder das Gehäuse erhält eine schwarze Lackierung.

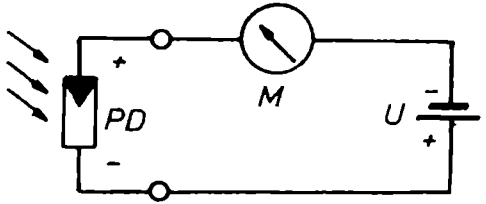
Bei Fotodioden wird aber eine hohe Lichtempfindlichkeit verlangt. Deswegen erhalten sie ein besonderes Lichteintrittsfenster in Linsenform, damit die Lichtstrahlen auf die lichtempfindliche Kristallstelle konzentriert werden. Die gesamte lichtempfindliche Fläche beträgt etwa 1 mm². Fotodioden eignen sich wegen dieser punktförmigen Lichtempfindlichkeit besonders zur Abtastung von Lochstreifen.

a) Leerlaufspannung
Jede Fotodiode kann als Fotoelement benutzt werden. Am anodenseitigen Anschluß (gewöhnlich mit einem roten Punkt gekennzeichnet) entsteht der Pluspol. Die Leerlaufspannung wird wiederum nach der Kompensationsmethode gemessen. Sie ist wesentlich geringer als bei Silizium-Fotoelementen, erreicht aber ebenfalls einen Sättigungswert.

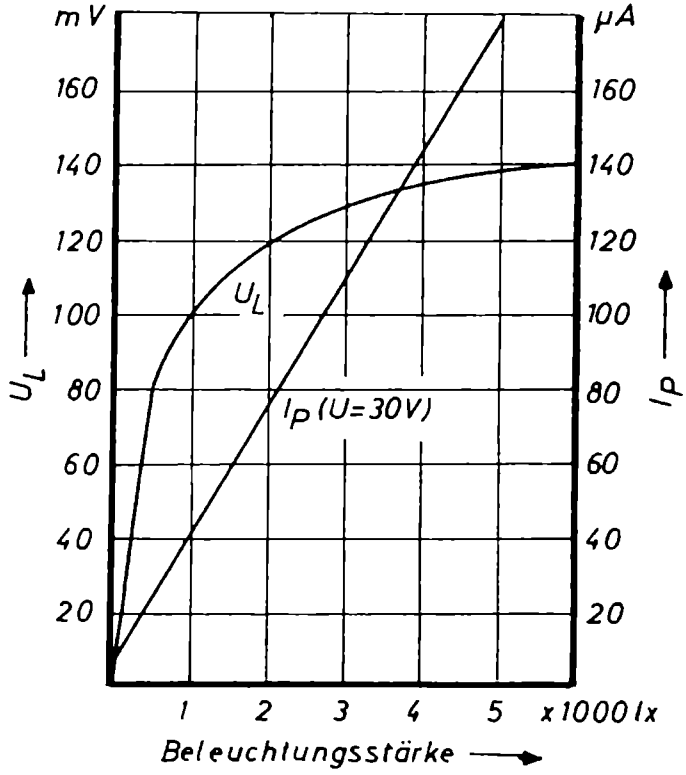
b) Betrieb mit Vorspannung
Bevorzugt werden Fotodioden mit Vorspannung betrieben. Die Vorspannung wird in Sperrichtung angelegt, d. h. der Minuspol der Spannungsquelle wird mit der Anode der Fotodiode verbunden. Bei unbeleuchteter Fotodiode fließt ein Dunkelstrom, der dem Sperrstrom einer normalen Diode entspricht. Mit steigender Beleuchtungsstärke nimmt der Fotostrom linear zu. Er ist von der angelegten Vorspannung nur sehr gering abhängig, so daß die Vorspannung nicht besonders stabilisiert werden muß.


+
PD
–
M
P
+
1,5 V
stab.
–

a)


+
PD
–
M
U
–
+

b)


mV
160
140
120
100
80
60
40
20
U_L
μA
160
140
120
100
80
60
40
20
I_P
U_L
I_P (U=30V)
1
2
3
4
5
x1000 lx
Beleuchtungsstärke

Schaltung 36

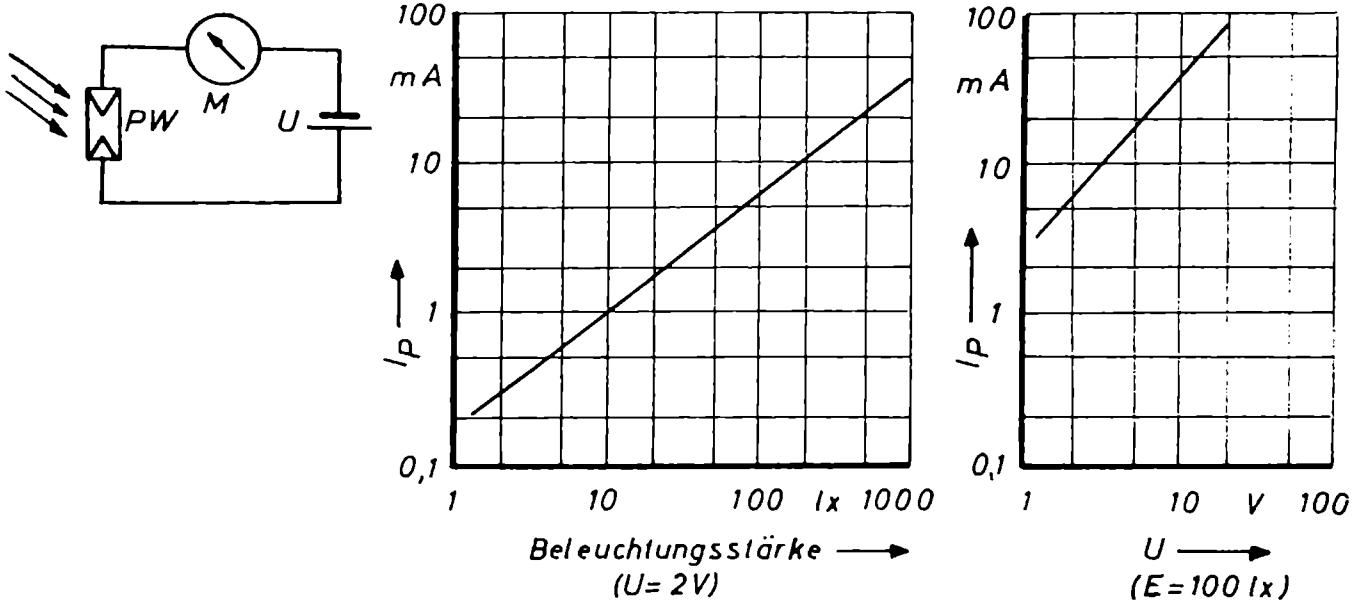
Eigenschaften von Fotowiderständen

Im Gegensatz zu Fotoelementen und Fotodioden erzeugen Fotowiderstände keine Spannung, auch sind sie stromrichtungsunabhängig.

Bei Fotowiderständen ändert sich der ohmsche Widerstand in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke. So beträgt der Hellwiderstand des Fotowiderstandes LDR 03 bei 100 lx etwa 1 kΩ, der Dunkelwiderstand ist jedoch größer als 10 MΩ.

Eine Widerstandsabnahme des Fotowiderstandes bedeutet bei konstanter Hilfsspannung eine Stromzunahme. Bei hohen Beleuchtungsstärken muß daher unter Umständen die Hilfsspannung verringert werden, da sonst bei einem hohen Strom die Belastbarkeit des Fotowiderstandes überschritten wird.

Zur Messung schließt man den Fotowiderstand über ein Milliamperemeter an eine Spannung von etwa 2—5 V an und ermittelt für verschiedene Beleuchtungsstärken die entsprechenden Fotoströme. Im doppel-logarithmischen Liniennetz aufgezeichnet, ergibt die Abhängigkeit des Fotostromes von der Beleuchtungsstärke eine Gerade. Bei konstanter Beleuchtungsstärke kann noch die Abhängigkeit von der Hilfsspannung aufgenommen werden. Auch hier ergibt sich ein geradliniger Verlauf.


PW
M
U
100
mA
10
1
0,1
I_P
1
10
100
lx
1000
Beleuchtungsstärke
(U= 2V)
100
mA
10
1
0,1
I_P
1
10
V
100
U
(E=100 lx)

Schaltung 37

Magnetfeldabhängige Bauelemente - Prüfverfahren

Für die Überprüfung von magnetfeldabhängigen Bauelementen (Feldplatte, Hallgenerator u. ä.) sollen zwei einfache Verfahren beschrieben werden.

Zur allgemeinen Untersuchung bringt man das Bauelement in das Magnetfeld zwischen den Polschuhen eines Magneten. Es ändert sich dabei die jeweilige elektrische Größe (Widerstand, Spannung) des Bauelementes. Da in den meisten Fällen die Luftspaltinduktion des Magneten unbekannt ist, wird damit nur eine Ja-Nein-Entscheidung bezüglich der Funktionsfähigkeit des Bauelements getroffen. Es empfiehlt sich, einen Magneten mit möglichst kleinem Luftspalt zu verwenden, z. B. einen Ringmagneten aus einem permanentdynamischen Lautsprecher.

Für eine genauere Überprüfung des Bauteils, d. h. Abhängigkeit der elektrischen Werte von der magnetischen Induktion, wurde eine Spule in der gezeigten Bauform verwendet. Es handelt sich um eine Drossel, wie sie beispielsweise in Fernmeldeanlagen benutzt wird. In den Eisenkern wurde ein Schlitz gesägt, so daß man einen Luftspalt von etwa $\delta = 1$ mm erhielt. Um ein Auffächern des lamellierten Eisenkerns zu vermeiden, wurden die Bleche mit einem Zweikomponentenkleber unter Druck verklebt.

Für den Nachbau muß nicht unbedingt die gleiche Drossel verwendet werden; jede Spule mit geschlossenem Eisenkern läßt sich entsprechend bearbeiten. Ein Nachteil der verwendeten Spule soll nicht verschwiegen werden: Bei hohen Luftspaltinduktionen wird die Luftspaltstreuung unter Umständen so groß, daß von dem zu prüfenden Bauelement nicht alle Feldlinien erfaßt werden. Es läßt sich vermeiden, wenn man den Eisenquerschnitt genügend groß macht. Die Spulendaten der verwendeten Ausführung sind:

Windungszahl $n = 4000$
Gleichstromwiderstand $R = 100\ \Omega$
Drahtstärke $d = 0{,}2$ mm CuL
Eisenquerschnitt $A = 35\ mm^2$
Eisenweg $l = 12$ cm
Luftspalt $\delta = 1$ mm

Da wohl selten eine Eichmöglichkeit besteht, soll die für eine bestimmte Luftspaltinduktion benötigte Stromstärke ausgerechnet werden. Im Endergebnis wird dann gezeigt, daß die Durchflutung im Eisenkern vernachlässigt werden kann und man eine einfache Abhängigkeit der Luftspaltinduktion vom Spulenstrom erhält.

Eisen- und Luftspaltquerschnitt sind gleich. Bei Vernachlässigung der Streuung ist dann auch die Induktion B im Eisen und im Luftspalt gleich.

Angenommen sei eine Induktion von $B = 5000$ Gauß

Die magnetische Feldstärke im Eisen beträgt nach den bekannten Magnetisierungskurven (siehe elektrotechnische Tabellenbücher) für Dynamoblech $H_F = 1$ A/cm

Im Luftspalt beträgt die Feldstärke

$$H_L = \frac{B}{\mu_o} = \frac{5000\ G \cdot A}{1{,}257\ G \cdot cm} = 3980\ A/cm$$

Damit wird die notwendige Durchflutung

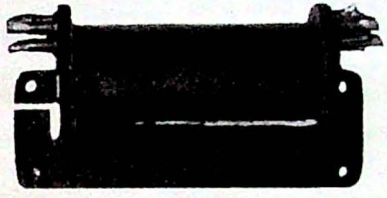
$\theta = H_F \cdot l_F + H_L \cdot \delta = 1 A/cm \cdot 12\ cm + 3980\ A/cm \cdot 0{,}1\ cm$

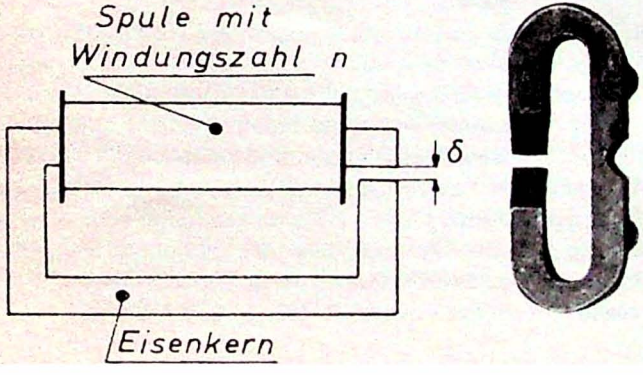
$\theta = 12\ AW + 398\ AW$

$\theta = 410\ AW$

und die erforderliche Stromstärke bei n = 4000 Windungen.

$$I = \frac{\theta}{n} = \frac{410}{4000} = 102{,}5\ mA$$





Betrachtet man nun das Verhältnis der magnetischen Spannung ($H_F \cdot l_F$ bzw. $H_L \cdot \delta$) zur gesamten Durchflutung, so stellt man fest, daß infolge der hohen Permeabilität des Eisens gegenüber Luft nur etwa 3% aufzubringen sind. Mit genügender technischer Genauigkeit kann man diesen Anteil der Durchflutung vernachlässigen. Damit vereinfacht sich die Formel zur Berechnung der Induktion im Luftspalt. Es gilt dann

$$B = I \cdot \frac{n \cdot \mu_o}{\delta}$$

Darin ist

B = Luftspaltinduktion in Gauß (G)

I = Spulenstrom in A

n = Windungszahl der Spule

δ = Größe des Luftspaltes in cm

μ_o = Permeabilität der Luft = 1,257 $\frac{A}{G \cdot cm}$

Da die Größen n, μ_o und δ konstant sind, wird einmalig dieser Faktor ausgerechnet. Es gilt dann nur

$B = I \cdot k$

Für orientierende Messungen an magnetfeldabhängigen Bauelementen genügt dieses einfache Verfahren.

Bemerkung:

Nach dem MKSA-Einheitensystem wird die magnetische Induktion B mit „Flußdichte" bezeichnet. Die Einheit dafür ist das Tesla (T). Dabei ist 1 T = 10 kG

Da jedoch die meisten Veröffentlichungen noch mit dem alten CGS-Einheitensystem (also Einheit „Gauß") erschienen sind, soll in diesem Buch diese Schreibweise beibehalten werden.

Schaltung 38

Prüfung von Feldplatten

Magnetfeldabhängige Widerstände (Feldplatten, amerik.: Magnetoresistor oder MDR) sind Widerstände auf Halbleiterbasis, deren Wert sich durch Einwirken eines Magnetfeldes vergrößert.

Die Änderung ist verhältnismäßig hoch. Während die bekannten Wismutspiralen bei einer magnetischen Induktion von 10 kG nur eine Widerstandszunahme von 50 % haben, bekommt man bei den jetzigen Halbleiterwiderständen auf der Basis von Indiumantimonid eine Widerstandsänderung um das 5- bis 15fache. Die Widerstandsänderung ist unabhängig vom Vorzeichen des Magnetfeldes. Bedingung ist für maximale Empfindlichkeit, daß die Feldplatte stets senkrecht vom Magnetfeld durchdrungen wird.

Bei der Darstellung der Abhängigkeit bezieht man sich auf den Grundwiderstand, d. h. auf den Widerstand der Feldplatte ohne Magnetfeld bei 25 °C Umgebungstemperatur. Die Abhängigkeit „Widerstandsverhältnis R/R_0: magnetische Induktion B" verläuft im Bereich 0 . . . 3 kG quadratisch, darüber hinaus linear. Im Diagramm biegt die Kurve bei etwa 4 kG vom tatsächlichen gestrichelt gezeichneten Verlauf ab. Es ist dies eine Auswirkung der Luftspaltstreuung bei der verwendeten Meßeinrichtung.

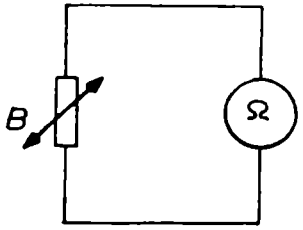
Feldplatten sind temperaturabhängig. Typen mit hoher Empfindlichkeit haben einen großen negativen Temperaturbeiwert. Jedoch stehen für die verschiedenen Anwendungsbereiche entsprechende Feldplatten zur Auswahl. Nachstehend eine Aufstellung nach Unterlagen von Siemens:

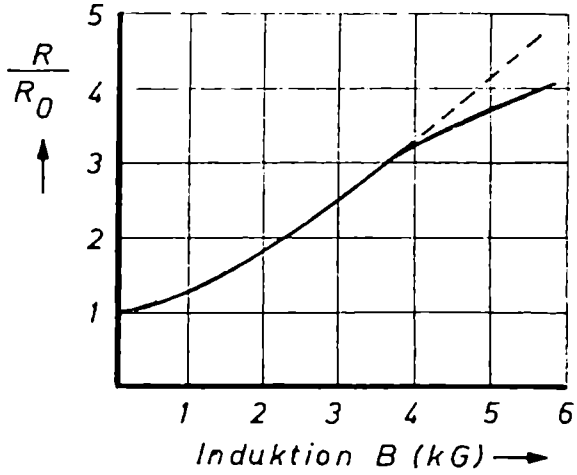
D-Typen = In Fällen, bei denen maximale Empfindlichkeit wichtiger ist, als ein geringer Temperaturkoeffizient.

L-Typen = In Fällen, wo ein geringer Temperaturkoeffizient bei guter Empfindlichkeit erwünscht ist.

P-Typen = In Fällen, wo hohe Anforderungen an Temperaturkoeffizient und Empfindlichkeit gestellt werden. Diese Typen sind relativ hoch belastbar.

Die maximale Temperatur der Halbleiterschicht darf 95 °C nicht überschreiten. Die zulässige Höchstbelastung ist abhängig von der Montageweise der Feldplatte. Bei frei in Luft angebrachten Feldplatten liegt der thermische Widerstand je nach Type zwischen 150 . . . 1000 °C/W.


B
Ω


R/R0
5
4
3
2
1
1
2
3
4
5
6
Induktion B (kG)

Schaltung 39

Messung an einem Hallgenerator

Der „Hall-Effekt", 1879 von dem Engländer E. Hall entdeckt und nach ihm benannt, läßt sich bei allen Metallen nachweisen. Aber erst die Verwendung von Halbleitermaterialien brachte die Möglichkeit zu einer brauchbaren Ausnutzung des Halleffekts.

Ein Hallgenerator besteht aus einem rechteckigen Plättchen aus Indiumarsenid (Indiumantimonid wird trotz seiner hohen Empfindlichkeit wegen des großen Temperaturkoeffizienten wenig verwendet). Schickt man durch die Schmalseiten des Plättchens einen Strom, den Steuerstrom, und läßt das Plättchen gleichzeitig von einem Magnetfeld durchdringen, so kann man an den Längsseiten eine Spannung, die Hallspannung, abnehmen.

Die Polarität der Hallspannung u_2 ist abhängig von der Richtung des Steuerstromes i_1 und der Polarität des Magnetfeldes.

Die Höhe der Hallspannung u_2 ist proportional dem Steuerstrom i_1 und der magnetischen Induktion, der Flußdichte.

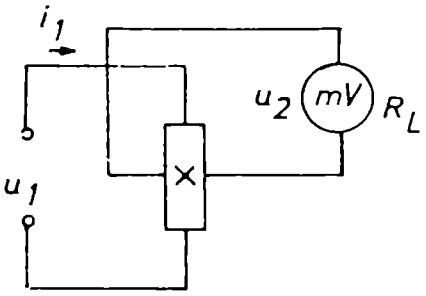
Die Proportionalität der Hallspannung verläuft nicht linear. Entscheidend für den Verlauf ist der Wert des Abschlußwiderstandes R_L, d. h. der Innenwiderstand des die Hallspannung messenden Voltmeters. In den Datenblättern wird daher immer der Verlauf der Hallspannung in Abhängigkeit vom Steuerfeld bei verschiedenen Abschlußwiderständen angegeben.

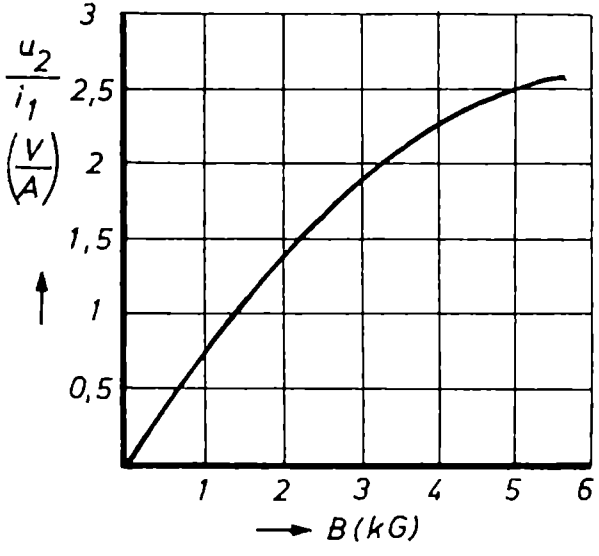
(Die gezeichneten Kurven wurden an einem Hallgenerator SV 110 aufgenommen. Der Steuerstrom betrug 8 mA, das verwendete Millivoltmeter hatte einen Innenwiderstand von 20 Ω.)

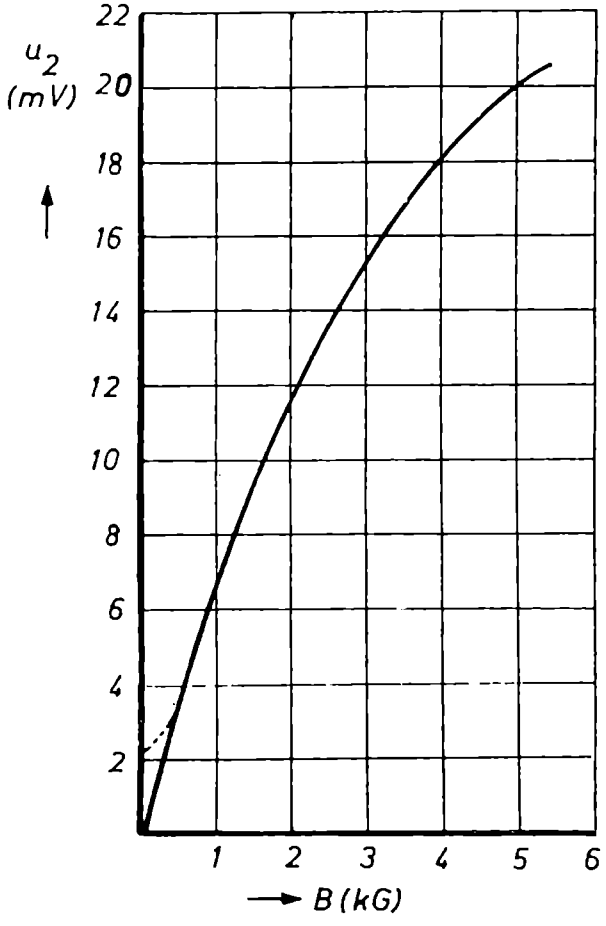
Es sind zwei Darstellungsweisen gebräuchlich. Einmal die direkte Funktion — Hallspannung abhängig von der magnetischen Induktion — und zum zweiten die — normierte Hallspannung u_2/i_1 abhängig von der magnetischen Induktion. Bei der normierten Hallspannung teilt man den gemessenen Hallspannungswert u_2 durch den Steuerstrom i_1. Man erhält dann auch bei verschiedenen Steuerströmen stets den gleichen Kurvenverlauf.

Bei fehlendem Steuerfeld (B = O) kann man trotzdem noch eine Hallspannung messen. Diese Spannung (im u_2/B-Diagramm gestrichelt gezeichnet) bezeichnet man als ohmsche Nullspannung; sie kann durch bestimmte Schaltungsmaßnahmen kompensiert werden.

Der Steuerstrom i_1 darf die in den Datenblättern genannten Werte nicht überschreiten, da sonst der Hallgenerator durch Überhitzung zerstört wird. Die höchstzulässige Temperatur der Halbleiterschicht darf, wenn in den Datenblättern nichts anderes angegeben wird, 120 °C nicht überschreiten.


i_1
u_2
mV
R_L
u_1


$\frac{u_2}{i_1}$ $\left(\frac{V}{A}\right)$
3
2,5
2
1,5
1
0,5
1
2
3
4
5
6
B (kG)


u_2 (mV)
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
1
2
3
4
5
6
B (kG)

Schaltung 40

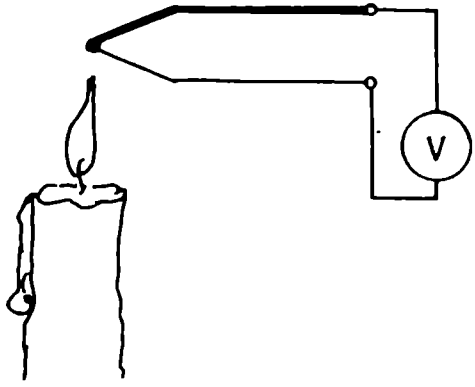
Eigenschaften von Thermoelementen

Thermoelemente gehören zwar nicht direkt zu den Halbleitern. Doch ist auch bei ihnen eine Grenzschicht zwischen zwei Metallen für den thermoelektrischen Effekt verantwortlich. In der Technik werden Thermoelemente hauptsächlich für Temperaturmessung verwendet.

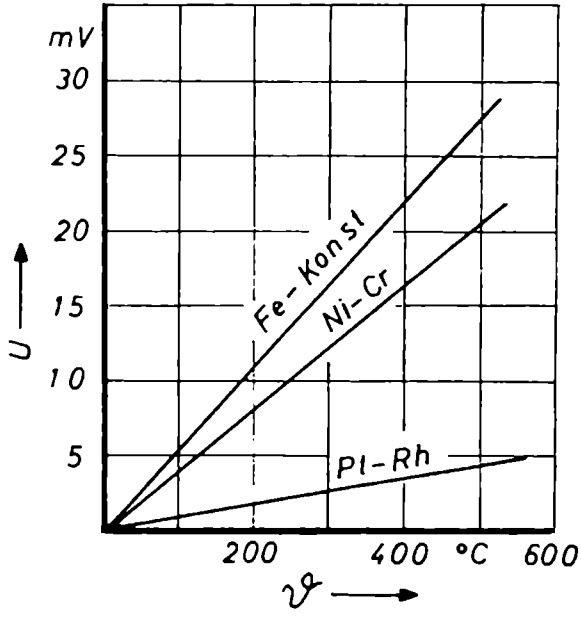
Der Nachweis des thermoelektrischen Effektes läßt sich leicht führen, wenn man einen etwa 0,6 mm starken Kupferdraht mit einem Widerstandsdraht (z. B. aus einem defekten Drahtpotentiometer) verlötet oder verschweißt. Die Drähte sollen etwa 20—30 cm lang, die Lötstelle der Dräht möglichst klein sein.

Schließt man an die Enden ein empfindliches Millivoltmeter oder ein Milliamperemeter mit niedrigem Innenwiderstand an und hält die verlötete Spitze des „Thermopaares" in eine Flamme, so erhält man einen Ausschlag am Meßinstrument. Für verschiedene Metallkombinationen bekommt man bei gleichbleibender Meßstellentemperatur unterschiedliche Spannungswerte. Die erzeugte Thermospannung ist bei der Kombination Eisen-Konstantan am höchsten, sie beträgt etwa 5,3 mV/100 ° C und steigt nahezu linear mit der Temperatur an.

Die Polarität verschiedener Thermopaare ist in nebenstehender Tabelle angegeben.



Kombination	Pluspol
Kupfer-Konstantan	Kupfer
Eisen-Konstantan	Eisen
Chromnickel-Nickel	Chromnickel
Platinrhodium-Platin	Platinrhodium



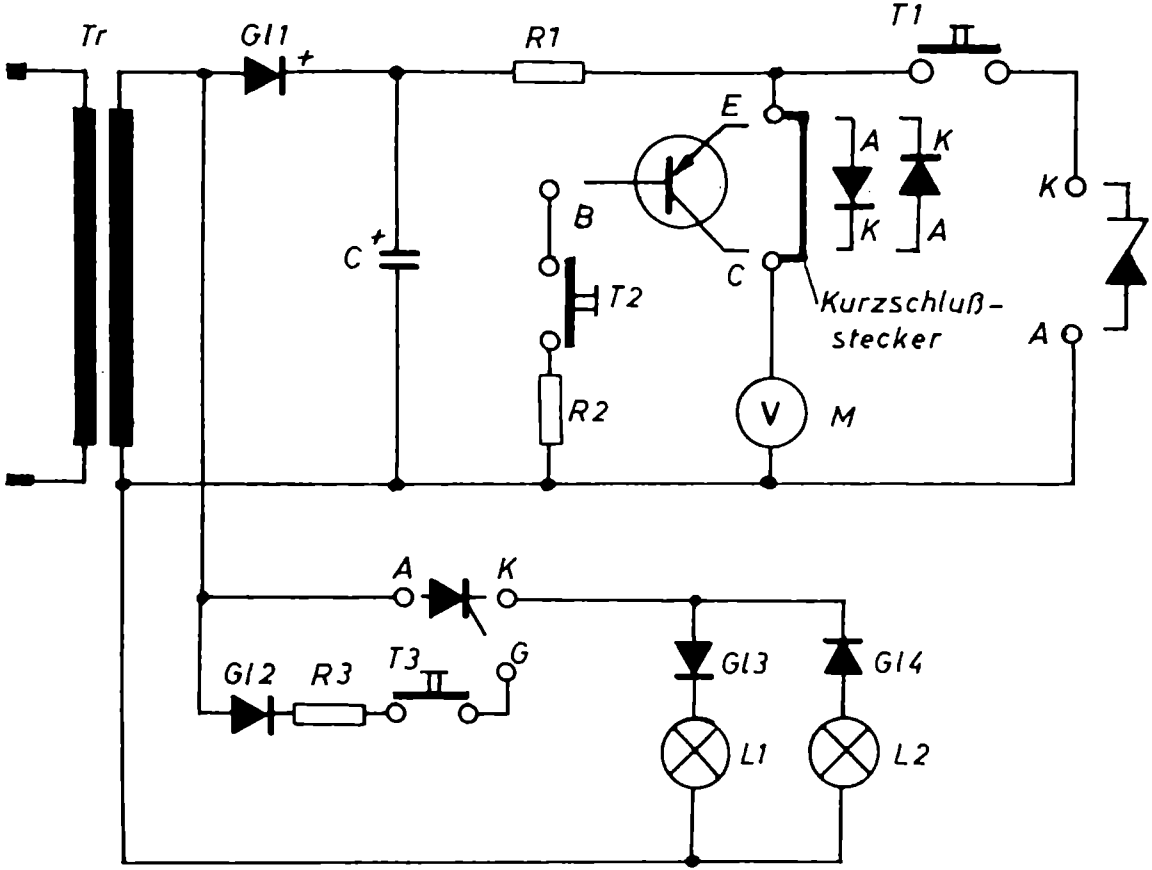
Schaltung 41

Halbleitertester

Dieses kleine Meßgerät eignet sich zum schnellen Überprüfen von Dioden, Zenerdioden, Gleichrichtern, Transistoren und Thyristoren. Es wurde aus den Schaltungen 7,12 und 15 entwickelt, dazu noch so erweitert, daß auch Transistoren und Dioden beurteilt werden können.
Eine Besprechung der Prüfschaltungen für Zenerdioden, Gleichrichter und Thyristoren erübrigt sich (siehe hierzu die entsprechenden Schaltungen), jedoch soll noch das Testprinzip für Dioden und Transistoren erläutert werden.
Das Voltmeter ist über einen Kurzschlußstecker mit der Speisespannung verbunden. Zur Diodenprüfung entfernt man den Kurzschlußstecker und schließt stattdessen die zu prüfende Diode an die Buchsen an. Ist die Diode in Durchlaßrichtung angeschlossen, so zeigt das Voltmeter fast die volle Spannung an. Bei Anschluß der Diode in Sperrichtung zeigt sich am Voltmeter nur ein geringer Ausschlag.
Transistoren prüft man ähnlich. Zuerst erfolgt eine „Reststrommessung", bei der das Voltmeter kaum einen Ausschlag zeigen darf. Nach Drücken der Taste T2 fließt über den Widerstand R2 ein geringer Basisstrom. Der innere Widerstand zwischen Emitter und Kollektor sinkt, die Spannungsanzeige am Voltmeter wird größer.

Einzelteilliste:

Tr	=	Heiztransformator 220 V/12,6 V 0,6 A
Gl 1, 2, 3, 4	=	Kleinleistungsgleichrichter (BYY 31 o. ä.)
C	=	Elektrolytkondensator 100 µF/30 V
R 1	=	Widerstand 500 Ω/1 W
R 2	=	Widerstand 100 kΩ
R 3	=	Widerstand 10 kΩ
L 1, L 2	=	Anzeigelampen 12 V/0,1 A
M	=	Voltmeter 15 V Vollausschlag, Innenwiderstand 15 kΩ
T 1, 2, 3	=	„Ein"-Tasten


Tr
Gl1
R1
T1
E
A
K
K
A
B
C
T2
C
Kurzschluß-
stecker
K
A
R2
V
M
A
K
G
Gl2
R3
T3
Gl3
Gl4
L1
L2

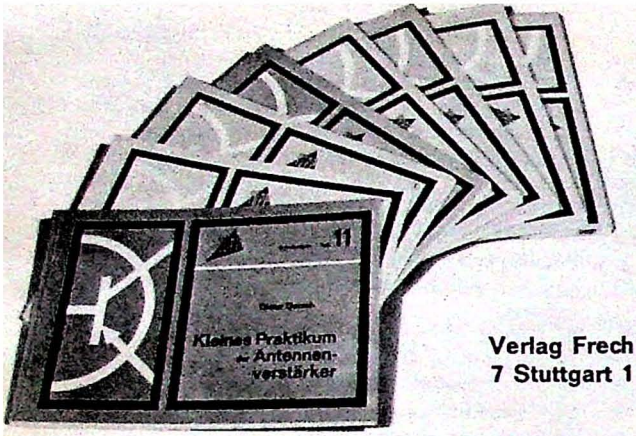
Literatur

Eine allgemein angewandte Zusammenstellung für Meßverfahren an Halbleiterbauelementen gibt es noch nicht. Lediglich der Fachnormenausschuß Elektrotechnik im Deutschen Normenausschuß (DNA) hat sich bemüht, gültige und vor allem reproduzierbare Meßverfahren zu veröffentlichen. Nachstehend sind einige DIN-Normen, bzw. Normentwürfe, aufgeführt (Stand Jan. 1970). Alleinverkauf der Normblätter durch Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin 30 und Köln.

DIN	Ausgabe	Titel
41740	(7.69)	Bl. 1 Entwurf Selendioden; Begriffe
	(6.69)	Bl. 2 Entwurf Selendioden; Kennzeichnung und allgemeine Richtlinien für Angaben in Datenblättern
41741	(6.69)	Bl. 1 Entwurf Selendioden: Angaben in Datenblättern, Schaltdioden
	(6.69)	Bl. 2 Entwurf Selendioden; Angaben in Datenblättern, Signaldioden
	(6.69)	Bl. 3 Entwurf Selendioden; Angaben in Datenblättern, Amplitudenbegrenzer-Dioden
	(6.69)	Bl. 4 Entwurf Selendioden; Angaben in Datenblättern, Durchlaßdioden
41750	11.57	Trockengleichrichter-Geräte und -Anlagen; Benennungen
	(5.68)	Bl. 1 Entwurf Stromrichter; Begriffe für Halbleiter-Stromrichter, Aufbau
	(12.68)	Bl. 2 Entwurf Stromrichter; Halbleiter-Stromrichter, Arten von Stromrichtern
	(1.68)	Bl. 3 Entwurf Stromrichter; Halbleiter-Stromrichter, elektrische Größen und Begriffe
41754	(3.68)	Bl. 1 Entwurf Stromrichter; Einkristall-Halbleiterstromrichtersätze, nichtsteuerbare Gleichrichtersätze, Begriffe
41756	(7.68)	Bl. 1 Entwurf Stromrichter; Belastung von Stromrichtern, Betriebsarten und Belastungsklassen
41771	9.62	Bl. 1 Halbleitergleichrichter; technische Lieferbedingungen und Prüfverfahren
	(11.67)	Bl. 1 Entwurf Vielkristall-Halbleitergleichrichter-Platten und -Sätze; Meß- und Prüfverfahren
	9.62	Bl. 2 Halbleitergleichrichter; Schaltungen zum Messen des Leerlaufstromes
	(1.68)	Bl. 2 Entwurf Stromrichter; Vielkristall-Halbleitergleichrichter-Platten und -Sätze, Ermittlung des Sperrverlustes durch Leerlaufmessung
	9.62	Bl. 3 Halbleitergleichrichter; Schaltungen zum Messen der Kurzschlußspannung
	(1.68)	Bl. 3 Entwurf Stromrichter; Vielkristall-Halbleitergleichrichter-Platten und -Sätze, Ermittlung des Durchlaßverlustes durch Kurzschlußmessung
41781	1.68	Gleichrichterdioden für die Energietechnik (Einkristallgleichrichterzellen); Begriffe
41783	4.66	Einkristallgleichrichterzellen; Meßverfahren
41784	(3.68)	Entwurf Thyristoren; Meßverfahren
41785	(3.68)	Bl. 1 Entwurf Halbleiterbauelemente; Kurzzeichen zur Verwendung in Datenblättern, Aufbau der Kurzzeichen

DIN	Ausgabe	Titel
	(3.68)	Bl. 2 Entwurf Halbleiterbauelemente; Kurzzeichen zur Verwendung in Datenblättern, „Kurzzeichen für Halbleiterbauelemente der Nachrichtentechnik
	(7.67)	Bl. 3 Entwurf Halbleiterbauelemente; Kurzzeichen zur Verwendung in Datenblättern, Kurzzeichen für Halbleiterbauelemente der Starkstromtechnik
41786	(8.67)	Vornorm Thyristoren; Begriffe
41790	(4.67)	Entwurf Halbleiterbauelemente; Angaben in Datenblättern, Z-Dioden (Spannungsreferenz-, Spannungsstabilisator- und Begrenzerdioden)
41791	7.66	Bl. 1 Halbleiterbauelemente für die Nachrichtentechnik; Angaben in Datenblättern, Richtlinien
	7.66	Bl. 2 —;—, -Dioden kleiner Leistung
	10.66	Bl. 4 —;—, Verstärker-Transistoren
	7.66	Bl. 5 —;—, NF-Leistungstransistoren
	7.66	Bl. 6 —;—, Schalttransistoren
	8.68	Bl. 7 —;—, Tunneldioden
	4.68	Bl. 8 —;—, Dioden variabler Kapazität für Abstimmzwecke
	(8.69)	Bl. 8 Entwurf Halbleiterbauelemente für die Nachrichtentechnik; Angaben in Datenblättern, Kapazitäts-(Variations-)Dioden
41792	8.65	Halbleiterbauelemente für die Nachrichtentechnik; Meßverfahren, Richtlinien
	9.66	Bbl. 1 —; Meßverfahren, Transistoren
	6.67	Bbl. 2 —; Meßverfahren, Dioden
	7.68	Bbl. 3 —; Meßverfahren, Wärmewiderstand
	(9.66)	Bbl. 10 Entwurf —; Meßverfahren, Transistoren (Ergänzung zu Bbl. 1)
	(11.68)	Bbl. 11 Entwurf —; Meßverfahren, Transistoren, Rauschen (Ergänzung zu Bl. 1)

DIN	Ausgabe	Titel
41853	11.67	Halbleiterdioden; Signaldioden und Gleichrichterdioden für die Nachrichtentechnik, Begriffe
41855	8.67	Transistoren (Flächentransistoren); Begriffe
41854	11.67	Halbleiterbauelemente; Begriffe
41856	7.69	Tunneldioden; Begriffe
41858	(11.67)	Entwurf Feldeffekttransistoren; Begriffe
41882	7.68	Bl. 1 Kühlkörper für Gleichrichterdioden; Kühlkörpergröße K 15, K 9, K 5, K 3, Abmessungen
	7.68	Bl. 2 —; Kühlkörper K 0,55 und K 1,1, Abmessungen
44020	1.61	Bl. 1 Photoelektronische Bauelemente; allgemeine Begriffe
	7.69	Bl. 2 —; Begriffe für Photovervielfacher
44021	7.58	Bl. 1 Spektralkurve für Photozellen S-1 mit Cäsiumoxydkathode
	7.58	Bl. 2 Spektralkurve für Photozellen S-4 mit Cäsium-Antimonkathode
44022	12.56	Photoelektronik, Frontzelle, Außenmaße
44023	7.58	Miniatur-Photozellen
44028	11.61	Bl. 1 Messung photoelektronischer Bauelemente; Meßbedingungen für Photozellen
	11.61	Bl. 2 —; Meßbedingungen für Photovervielfacher
	6.62	Bl. 3 —; Meßbedingungen für Photoelemente
	(12.65)	Bl. 4 Entwurf —; Meßbedingungen für Photowiderstände
44029	9.63	Bl. 1 Messung von Sondereigenschaften photoelektrischer Bauelemente; Messung der Empfindlichkeit im UV-Bereich
44030	(5.66)	Entwurf Lichtschranken und Lichttaster; Begriffe
44031	9.59	Selen-Photoelemente, Grundmaße
44039	9.59	—, rund; Außenmaße
44038	9.59	—, —; Fassungen



Verlag Frech
7 Stuttgart 1

1 30 Schaltungen
2 35 Schaltungen
3 36 Schaltungen
4 Meßgeräte
5 Transistoren — neu
6 37 Schaltungen
7 Thyristoren
8 Fernsteuerschaltungen
9 NF-Verstärker
10 38 Schaltungen
11 Antennenverstärker
12 Fotowiderstände
13 Fotozellen
14 Fotohalbleiter
15 Digitalschaltungen
16 NF-Sonderschaltungen I
17 NF-Sonderschaltungen II
18 Thyratron PL 21
19 Schalten und Verstärken
20 Halbleitermessen
21 Auto-Elektronik
22 Relaisschaltungen
23 Experimente mit IS
24 Netzgeräte-Berechnungen
25 Neue Halbleiter
26 Moderne Bauelemente
27 Transistor-Tasten
28 Minispione
29 Stabilisierungsschaltungen
30 Integrierte Schaltungen
31 Impulsschaltungen
32 Dioden und Gleichrichter
33 Schwingkreis-Tabellen
34 Oszillografie
35 Stereoanlagen
36 Satelliten
37 Warngeräte
38 Tunneldioden
39 Netzgeräte-Baubuch
40 Bauelemente 1
41 Bauelemente 2
42 Bauelemente 3
43 Bauelemente 4
48 Triac 1
49 Triac 2
50 Antennenrotoren
51 Relaisbemessungen
52/53 Fernsteuerbaubuch
54 Heimelektronik
55 Astabile Kippschaltungen
56 Winkelfunktionen

TOPP **»Elektronik«**

Jeder Band ca. 80 Seiten, 30 Zeichnungen — Wir schicken Ihnen gerne kostenlos ein Verzeichnis aller in dieser Reihe veröffentlichten Schaltungen

Der Metallschweißer aus der Tube

(UHU-plus oft besser als Löten, Nieten, Schrauben, Schweißen!)

UHU-plus klebt nicht nur Stahl auf Stahl oder Aluminium auf Eisen. Es „verschweißt" praktisch alles unlösbar mit- und untereinander. Von Buntmetallen bis zu gehärteten Kunststoffen. Von Bakelit bis zu Porzellan. Die Festigkeit der Klebung beträgt max. 300 kg pro cm^2. Ein Plus um die verschiedensten Werkstoffe bombenfest zu verbinden.

UHU-Werk H. u. M. Fischer,
758 Bühl (Baden)

UHU plus®

TOPP

Die vorliegende Schaltungssammlung soll einen Überblick über die Eigenschaften der gebräuchlichsten Halbleiterbauelemente geben. Die Schaltungen sagen aus, wie die Kennlinie eines Halbleiters aufgenommen wird und wie der grundsätzliche Verlauf der Kennlinie sein soll. Gezeigt wird außerdem, wie aus den Messungen charakterisierende Kennwerte zeichnerisch und rechnerisch ermittelt werden können.
Zusätzlich geben einfache Testschaltungen Hinweise, wie man in kurzer Zeit Halbleiterbauelemente auf ihre Funktion und Brauchbarkeit prüfen kann.